

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**UZAKTAN ALGILAMA VE YERSEL VERİLER KULLANILARAK NO₂
ÖZELİNDE HAVA KALİTESİNE YÖNELİK METEOROLOJİK MEKANSAL
BİLGİ ÜRETİMİ: ANKARA ÖRNEĞİ**

Ercüment AKSOY

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

TEMMUZ 2023

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**UZAKTAN ALGILAMA VE YERSEL VERİLER KULLANILARAK NO₂
ÖZELİNDE HAVA KALİTESİNE YÖNELİK METEOROLOJİK MEKANSAL
BİLGİ ÜRETİMİ: ANKARA ÖRNEĞİ**

Ercüment AKSOY

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

TEMMUZ 2023

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**UZAKTAN ALGILAMA VE YERSEL VERİLER KULLANILARAK NO₂
ÖZELİNDE HAVA KALİTESİNE YÖNELİK METEOROLOJİK MEKANSAL
BİLGİ ÜRETİMİ: ANKARA ÖRNEĞİ**

Ercüment AKSOY

UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

TEMMUZ 2023

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**UZAKTAN ALGILAMA VE YERSEL VERİLER KULLANILARAK NO₂ ÖZELİNDE
HAVA KALİTESİNE YÖNELİK METEOROLOJİK MEKANSAL BİLGİ ÜRETİMİ:
ANKARA ÖRNEĞİ**

Ercüment AKSOY

UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

Bu tez 07./07/2023 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Bekir Taner SAN (Danışman) [imza]

Prof. Dr. Ali KILÇIK [imza]

Prof. Dr. Hakan Ahmet NEFESLİOĞLU [imza]

Prof. Dr. Sultan KOCAMAN GÖKÇEOĞLU [imza]

Doç. Dr. Serdar SELİM [imza]

ÖZET

UZAKTAN ALGILAMA VE YERSEL VERİLER KULLANILARAK NO₂ ÖZELİNDE HAVA KALİTESİNE YÖNELİK METEOROLOJİK MEKANSAL BİLGİ ÜRETİMİ: ANKARA ÖRNEĞİ

Ercüment AKSOY

Doktora Tezi, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Bekir Taner SAN

İkinci Danışman: Dr. Doğuşhan KILIÇ

Temmuz 2023; 136 sayfa

Sürekli İzleme Merkezi (SİM) istasyonlarının mekânsal dağılımlarının yetersizliği nedeniyle açık kaynak veri setleri kullanılarak yersel NO₂ kirleticisinin dağılımının belirlenme hassasiyetini artırmak amacıyla modelleme çalışması yapılmıştır.

Çalışmada veri mevcudiyeti en yüksek 2021 yılı Ankara merkezindeki 15 adet SİM istasyonunun (Bahçelievler, Demetevler, Etimesgut, Keçiören-Sanatoryum, Ostim, Sincan, Siteler, Törekent, Yaygınlaştırma-Mamak, Yaygınlaştırma-Çankaya, Polatlı, Çubuk, Ulus-Trafik, Sıhhiye ve Yaşamkent) aylık NO₂ yersel ölçüm verisi, Sentinel5P Tropomi'nin NO₂ uydu görüntüsü, alınan bulut optik derinliği, Terraclimate'in en düşük sıcaklık, en yüksek sıcaklık, buhar basıncı, buhar basıncı açığı, rüzgar hızı ile NOAA/VIIIRS'in Ortalama Işık Parlaklık Değeri verileri makine öğrenme teknikleri kullanılarak NO₂ yersel ölçüm verisi tahmin modeli oluşturulmuştur.

Çalışmanın istatistiki değerlendirmesinde Çoklu Doğrusal Regresyonu (ÇDR), Temel Bileşen Regresyonu (TBR) ve En Küçük Kareler Regresyonu (KEKKR) metotları kullanılmıştır. ÇDR değişkenler arasındaki ilişkiyi doğrudan irdelemek temelinde iken TBR ve KEKKR yüksek ilişkili tahmin değişkenleri içeren modellerde başarı gücü nedeniyle tercih edilmiş ve uygulanmıştır.

Aylık NO₂ yersel ölçüm, NO₂ uydu bazlı ölçüm, optik derinlik, en düşük sıcaklık, en yüksek sıcaklık, buhar basıncı açığı, rüzgar hızı ile ortalama ışık parlaklık parametreleri ÇDR, TBR ve KEKKR gibi tahmin modeli çalışmalarında kullanılmıştır. Her bir tekniğin model performans belirlenmesi amaçlanmış ve elde edilen modelin tahmin değerlerinin gerçek ölçüm değerleri ile istatistiksel analiz parametreleri hesaplanmış ve karşılaştırması yapılmıştır. Çalışma sonucunda ÇDR'nin değişkenler arasındaki ilişkiyi doğrudan ele alamadığı, çoklu bağlantı sorunu yaşanma riski bulunduğu bulgular ile elde edilmiştir. TBR ve KEKKR'nin ise yüksek ilişkili

değişkenlerin ortaya çıkardığı çoklu bağlantı sorununa çözüm getirdiği ve başarılarının ÇDR'ye göre daha yüksek olduğu çalışma bulguları ile elde edilmiştir. Elde edilem model ile daha az hata ve yüksek korelasyon olan model oluşturulmuştur.

ÇDR, TBR ve KEEKR metot uygulamalarında sırasıyla 0.27, 0.48, 0.49 Düzeltilmiş R kare değerleri elde edilmiştir. Çoklu doğrusallık problem etkisinin giderilmesi ile ÇDR'ye oranla yüksek ilişki oranları elde edilmiştir. TBR ve KEKKR makine öğrenme metotları ile oluşturulan modelin NO₂ yersel ölçüm değişkenini sırasıyla %87 , %85 açıkladığı tespiti yapılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Hava Kirliliği, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri, Makine Öğrenme, Sürekli İzleme Merkezi, Tropomi, Google Earth Engine, Açık Kaynak Veri

JÜRİ: Prof. Dr. Bekir Taner SAN

Prof. Dr. Ali KILÇIK

Prof. Dr. Hakan Ahmet NEFESLİOĞLU

Prof. Dr. Sultan KOCAMAN GÖKÇEOĞLU

Doç. Dr. Serdar SELİM

ABSTRACT

PRODUCTION OF METEOROLOGICAL-SPATIAL NITROGEN DIOXIDE (NO₂) DATA USING REMOTE SENSING AND GROUND-BASED MEASUREMENTS

Ercüment AKSOY

PhD Thesis in Department of Remote Sensing and Geographic Information Systems

Supervisor: Prof. Dr. Bekir Taner SAN

Vice Supervisor: Dr. Doğuşhan KILIÇ

JULY 2023; 136 pages

A modelling study, using open-source data sets, was conducted to increase the precision in determining the distribution of atmospheric nitrogen dioxide (NO₂) pollution, due to the insufficiency of ground based point measurements in capturing the spatial distribution of the the air pollutants.

In the study, the monthly mean concentration of atmospheric NO₂ from (i) 15 ground-based Continuous Monitoring Centre (CMC) stations (Bahçelievler, Demetevler, Etimesgut, Keçiören-Sanatorium, Ostim, Sincan, Siteler, Törekent, Dissemination-Mamak, Dissemination-Çankaya, Polatlı, Çubuk, Ulus-Traffic, Sıhhiye, and Yaşamkent) in Ankara in 2021, these have the highest data quality (highest number of continuous hourly samples) among CMCs available, (ii) the NO₂ satellite images from Sentinel5P Tropomi, cloud optical depth, (iii) TerraClimate minimum temperature, (iv) maximum temperature, (v) vapor pressure, (vi) vapor pressure deficit, (vii) wind speed, and (viii) NOAA/VIIRS's Average Light Brightness Value data were used to create a surface level NO₂ prediction model for urban air quality monitoring using machine learning techniques.

The statistical evaluation of the study was performed by using linear methods such as Multiple Linear Regression (MLR), Principal Component Regression (PCR), and Partial Least Squares Regression (PLSR). The direct linear relationship among variables examined via MLR, while, PCR and PLSR preferred and applied to reduce multi-dimensionality of correlated prediction variables.

Ground-based monthly mean NO₂ measurements, NO₂ satellite observations, optical depth, minimum temperature, maximum temperature, vapor pressure deficit, wind speed, and average light brightness parameters were used in prediction model studies such as MLR, PCR, and LSR. The aim was to determine the model performance

of each technique by statistically evaluating the satellite-based prediction parameters obtained via model and comparing with the real-time ground based measurements. As a result, MLR model has a weak correlation (or no significant correlation) between two datasets, while PCR and LSR model proposes a highly correlated datasets. In the study, the relationship effect was reduced, the percentage it explained increased, and it was determined that the error and correlation values had a negative effect.

In the applications of the MLR, PCR, and PLSR methods, adjusted R-square values were obtained as 0.27, 0.48, and 0.49, respectively. The correlation increased in the second rank (at PCR and LSR) by eliminating the effect of multicollinearity. It was determined that the model generated with the PCR and PLSR machine learning methods potentially explains the atmospheric NO₂ measurements at surface level by 87% and 85%, respectively.

KEYWORDS: Air Pollution, Remote Sensing and Geographic Information Systems, Machine Learning, Continuous Monitoring Centre, Tropomi, Google Earth Engine, Open-Source Data

COMMITTEE: Prof. Dr. Bekir Taner SAN
Prof. Dr. Ali KILÇIK
Prof. Dr. Hakan Ahmet NEFESLİOĞLU
Prof. Dr. Sultan KOCAMAN GÖKÇEOĞLU
Assoc. Prof. Dr. Serdar SELİM

ÖNSÖZ

Küresel ısınma insanlığı tehdit eder seviyelere ulaşmıştır. Orman yangınlarında artış, çölleşme, iklim değişiklikleri, salgın hastalıklar, kıtlık vb. büyük tehlikelerin ortaya çıkışına neden olmuştur. Bu tür insanlığı tehdit eden unsurlarının oluşmasına neden olan küresel ısınmanın en önemli etkenlerinden başlarında sera gazları gelmektedir. Bu kirleticilerden çalışma konusu olan NO_2 kirleticisi ise doğal ve antropolojik etki ile olması gerekenden fazla bulunmaktadır ve giderek miktarı da artmaktadır. Bu artışların başında motorlu taşıtlar, kömür sanayi, orman yangınları vb. örnekler verilebilmektedir.

Bu çalışma NO_2 kirleticisinin ve bu çalışmanın katkıları ile diğer kirleticilerin bulunması için genel kullanım olan yersel ölçümlerin zayıf taraflarını telafi etmek amaçlı yapılmıştır. Çalışma istasyon maliyetinin yüksek olması, sürekli ölçü alınmasında yaşanan sorunlar ve aralıklı mekansal dağılımı nedeniyle istasyon arası bilgi üretilmesinde yaşanan teknik problemlere çözüm yolu üretmek amaçlanmıştır.

Çalışmada 2021 yılı, Ankara SİM istasyonları aylık NO_2 yersel ölçüm verisi belirlenmiş olan kriterlere uygun seçim gerçekleştirilmiştir. Ayrıca çalışmanın geliştirilebilirliği ve özgünlüğünü artırma amacıyla veri kaynağının açık kaynak veri ve açık kaynak yazılım dili çerçevesinde ele alınması çalışmanın emek artırıcı safhalarını oluşturmuştur. Ancak bu özelliği ile geliştirilebilir özelliğine sahip olmuştur.

Bu tez çalışması ile NO_2 vb. sera gazlarının ölçülmesinde istasyon maliyetinin önüne geçmek ve ara istasyon arası boşluk verisinin ise kabul metoduna dayanan Kriging ve Uzaklığın Tersine Ağırlıklandırma (IDW) vb. metotlar ile üretilmesinden ziyade doğal veriye en yakın değerin alınmasını sağlamak imkanı yaratılmak amaçlanmıştır. Bu çalışma metodu ile üretilecek mekânsal altlıkların, karar vericilere yol gösterici nitelikte olması bu çalışmayı değerli kılmaktadır.

Bu çalışmanın hazırlanmasında katkılarında dolayı danışmanım Sayın Prof. Dr. Bekir Taner SAN'a teşekkürlerimi sunarım. Çalışmam sırasında maddi ve manevi olarak kıymetli katkı koyan Prof. Dr. Dilek KOÇ SAN'a, Doç. Dr. Serdar SELİM'e, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Öğretim Elemanlarına, Teknik Bilimler MYO öğretim görevlisi meslektaşlarıma, Doç. Dr. Nusret DEMİR'e, Dr. Doguşhan KILIÇ'a, Y.Müh.Deniz URAL'a ve değerli öğrencilerime teşekkür ederim.

Bu uzun soluklu süreçte en büyük fedakârlıkları yapan değerli eşim Esra AKSOY'a ve değerli kızım İpek AKSOY'a yürekten teşekkür ederim. Yaşam yolcuğumda varlığınız ile bana güç ve moral vermektесiniz

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ	iii
AKADEMİK BEYAN	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xvi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xix
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışma Alanının Konumu ve Özellikleri	1
1.2. Çalışmanın Amacı	2
1.3. Ankara Özelinde Hava Kirliliğinin İncelenmesi	3
1.3.1. Ankara sürekli izleme merkezleri.....	3
1.3.2. Ankara’da hava kirliliği izleme istasyon konumlarının genel karakteristik özellikleri	5
1.3.3. Ankara ili iklim değişikliği eylem plan çerçevesindeki hizmetler	6
1.4. Atmosfer ve Hava Kirliliği.....	6
1.4.1. Atmosferin özellikleri.....	7
1.4.2. Atmosferin katmanları	7
1.4.3. Meteorolojik faktörler.....	8
1.4.4. Çalışmada kullanılan TerraClimate veri setleri	8
1.5. Hava Kirliliği ve Hava Kirleticileri.....	9
1.5.1. Partikül madde (PM).....	10
1.5.2. Karbon monoksit (CO)	10
1.5.3. Nitrojen ve Sülfür Oksitler (NO _x ve SO _x)	11
1.5.4. Azot dioksit (NO ₂) ve Kükürt dioksit (SO ₂).....	11
1.5.5. Ozon (O ₃) ve Kurşun (Pb)	12
1.5.6. Hava kirleticisi kaynakları.....	133
1.6. Hava Kirliliğinin Ölçümü.....	13
1.6.1. Hava kalitesi ölçüm yöntemleri	13
1.6.2. Türkiye’deki sürekli izleme merkezleri.....	16
1.6.3. Türkiye’de hava kirliliği ölçüm verileri	17

1.6.4. Hava kalite indeksi	23
1.7. Hava Kirlilik Modellemesi	23
1.8. Türkiye’de Hava Kirliliği Sorun ve Önlemleri	24
1.9. Yasal Çalışmalar.....	25
1.9.1.Dünya’da hava kirliliği önleyici çalışmalar.....	255
1.9.2.Türkiye’deki hava kirliliği önleyici çalışmalar.....	26
2. KAYNAK TARAMASI	28
3. MATERYAL VE METOT	37
3.1.Kullanılan Veri Setleri.....	37
3.1.1. Sürekli izleme merkez (SİM) verileri:	38
3.1.2 COPERNICUS/S5P/NRTI NO ₂ uydu görüntüsü	39
3.1.3 TERRA CLIMATE (en düşük Sıcaklık, en yüksek sıcaklık, buhar basıncı, buhar basıncı açığı, rüzgar hızı verileri).....	40
3.1.4 NOAA / VIIRS / DNB / MONTHLY_V1 / VCMSLCFG Ortalama ışıık parlaklık değeri verisi	41
3.1.5 COPERNICUS/S5P/NRTI Alınan bulut optik derinliği	41
3.2. Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR, Multiple Linear Regression, MLR).....	44
3.3. Temel Bileşen Analizi (TBR, Principal Component Regression, PCR)	45
3.4. Kısmi En Küçük Kareler Regresyonu (KEKKR, Partial Least Squares Regression).....	46
4.BULGULAR.....	52
4.1. ÇDR: Çoklu Doğrusal Regresyon	52
4.1.1.Klasik çoklu doğrusal regresyon	52
4.1.1.1. Model.5’in anova testi işlemi (Anlamlılık testi, anova(model)).....	70
4.1.2 . Aşamalı Regresyon(Stepwise regresyon).....	72
4.1.3 .ÇDR işlemleri genel değerlendirilmesi	75
4.1.4 Test işlemleri	756
4.1.4.1. Model değişken anlamlılık testi	766
4.1.4.2. Varyans homojenliği	76
4.1.4.3.Modelin normallik kontrolü (ols_test_normality (lm_model)).....	77
4.1.4.4.Modelin varyans homojen durumu (ols_test_breusch_pagan (Model))78	

4.1.4.5. Çoklu doğrusal bağlantı problem araştırılması (Multicollinearity), (ols_coll_diag (model)).....	78
4.2. Temel Bileşen Regresyonu (TBR, Principal Component Analysis, PCR).....	80
4.2.1. TBR işlemleri.....	80
4.2.2. TBR genel değerlendirme.....	86
4.3. Kısmi En Küçük Kareler Regresyonu (KEKKR, Partial Least Squares Regression, PLSR)	86
4.3.1. KEKKR metotları	86
4.3.2. KEKKR metot uygulama sonuçlarının toplu değerlendirilmesi:.....	93
4.3.3. İstasyonların İrdelenmesi (Kısmi en küçük kareler regresyonu, KEKKR)..	94
4.3.3.1. Bahçelievler	95
4.3.3.2. Demetevler	96
4.3.3.3. Etimesgut	99
4.3.3.4. Keçiören	1001
4.3.3.5. Sincan.....	1023
4.3.3.6. Siteler	104
4.3.3.7. Yaygınlaştırma-Çankaya.....	106
4.3.3.8. Yaygınlaştırma-Mamak	109
4.4. İstasyon Bulguların Genel Değerlendirilmesi	110
4.5. Model Performans İrdelenmesi	112
4.6. Hava Kirliliği İle Arazi Kullanım İlişkisinin İrdelenmesi.....	116
5. TARTIŞMA	117
6. SONUÇLAR	124
7. KAYNAKLAR	126
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Doktora Tezi olarak sunduğum “UZAKTAN ALGILAMA VE YERSEL VERİLER KULLANILARAK NO₂ ÖZELİNDE HAVA KALİTESİNE YÖNELİK METEOROLOJİK MEKANSAL BİLGİ ÜRETİMİ: ANKARA ÖRNEĞİ” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

07/07/2023

Ercüment AKSOY

İmzası

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

GEE	: Google Earth Engine
PLS	: Kısmi en küçük kareler
%	: Yüzde
μm	: Mikrometre
$^{\circ}\text{C}$	: Derece santigrat
C	: Karbon
CH_4	: Metan
C_2H_6	: Etan
CO	: Karbonmonoksit
CO_2	: Karbondioksit
G	: Gram
H	: Hidrojen
HC	: Hidrojen karbon
HCl	: Hidroklorik asit
HNO_3	: Nitrik asit
Kg	: Kilogram
Km	: Kilometre
km^2	: Kilometrekare
m^2	: Metrekare
mg	: Miligram
ml	: Mililitre
NO_x	: Azot oksitler
N_2O	: Diazot oksit
O	: Oksijen

xi pH : Hidrojenin gücü
ppb : Milyarda bir birim
ppm : Milyonda bir birim
SO_x : Kükürt oksitler
SO₂ : Kükürt dioksit
CBS : Coğrafi Bilgi Sistemleri
D : Doğu
DEM : Sayısal Yükseklik Modeli
G : Güney
HC : Hidrokarbon
HI : Hidrojen İndeksi
ISO : Uluslararası Standart
K : Kuzey
Kcal : Kilokalori
TS : Türk Standartları
Xi Ph : Hidrojenin Gücü
% :Yüzde
µm :Mikrometre

Kısaltmalar

AAI : Emici Aerosol İndeksi
AIRS : Atmosferik Kızılötesi
ALH : Emici Katman Yüksekliği
AOD : Aerosol Optik Derinlik
AOT : Aerosol Optik Kalınlığı

AVHRR	: Advanced Very High Resolution Radiometer
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
BM	: Birleşmiş Milletler
°C	: Derece Celcius
C	: Karbon
C ₂ H ₆	: Etan
CFC	: Kloroflorokarbon
CH ₄	: Metan
CHL	: Klorofil
CBH	: Bulut Taban Yüksekliği
CF	: Alınan etkili radyometrik bulut fraksiyonu
COD	: Alınan bulut optik derinliği
CSA	: Yüzey albedosu
CTH	: Bulut Tepesinin Alınan Yüksekliği
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
COHB	: Karboksihemoglobin
ÇŞB	: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
D	: Doğu
DEM	: Sayısal Yükseklik Modeli
EEA	: Avrupa Çevre Ajansı
EPA	: Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (United States Environmental Protection Agency)
ET	: Toplam Evapotranspirasyon
ET QC	: Evapotranspirasyon Kalite Kontrol Bayrakları
EVI	: Gelişmiş Bitki Örtüsü İndeksi

G	: Gram
GEE	: Google Earth Engine
GOES	: Küresel Ozon İzleme Deneyi
GOME	: The Global Ozone Monitoring Experiment
H	: Hidrojen
HC	: Hidrokarbon
HCl	: Hidroklorik Asit
HI	: Hidrojen İndeksi
HKDYY	: Hava Kalitesi Değerlendirme Ve Yönetimi Yönetmeliği
HKI	: Ulusal Hava Kalitesi İndeksi
HNO ₃	: Nitrik Asit
IASI	: Kızılötesi Atmosferik Sondaj İnterferometresi
IDW	: Uzaklığın Tersine Ve Ağırlıklandırma (Inverse Distance Weighting)
INMAP	: Hava Kirliliğine Müdahale Modeli
ISO	: Uluslararası Standart
K	: Kuzey
KCa	: Kilokalori
Kg	: Kilogram
Km	: Kilometre
Km ²	: Kilometrekare
KVS	: Kirleticilerin Kısa Vadeli Sınır Değerleri
KEKKR	: Kısmi En Küçük Kareler Regresyonu
LE	: Ortalama Gizli Isı Akısı
LST	: Arazi Yüzey Sıcaklığı
ml	: Mililitre
m ²	: Metrekare

METOP	: Meteorolojik Operasyonel
Mg	: Miligram
MISR	: Çok Açılı Görüntüleme Spektro Radyometresi
ÇDR	: Çoklu Doğrusal Regresyon (Multi Linear Regression)
MODIS	: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MTHM	: Marmara Temiz Hava Merkezi
N ₂ O	: Diazot Oksit
NASA	: National Aeronautics And Space Administration
NDBSI	: Normalleştirilmiş Bina Çıplak Toprak İndeksi
NDVI	: Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi
NIPALS	: Nonlinear Iterative Partial Least Squares
NO ₂	: Azot dioksit
NO _x	: Azot Oksitler (NO+NO ₂)
O	: Oksijen
OMI	: Aura Uydusundaki Ozon İzleme
OSM	: “Open Street Map” olarak adlandırılan ve açık kaynak özelliğinde olan uluslararası harita altlığı projesidir.
Pb	: Kurşun
PCI	: Temel Bileşen Ekseni
TBR	: Temel Bileşen Analizi (PCA: Principal Component Analysis)
PDSI	: Palmer Kuraklık Şiddet İndeksi
PET	: Toplam Potansiyel Evapotranspirasyon
PLE	: Ortalama Potansiyel Gizli Isı Akışı
PLS	: Kısmi En Küçük Kareler Regresyonu (Partial Least Squares Regression)
PM	: Partiküler Madde (Particulate Matter)
Ppb	: Milyarda Bir Birim

Ppm	: Milyonda Bir Birim
SİM	: Sürekli İzleme Merkezi
SO ₂	: Kükürtdioksit
SO _x	: Kükürt Oksitler
SRAD	: Aşağı Doğru Yüzey Kısa Dalga Radyasyonu
SRTM	: Shuttle Radar Topography Mission
TS	: Türk Standartları
TES	: Troposferik Emisyon Spektrometresi
TM _{mn}	: En Düşük Sıcaklık
TM _{mx}	: En Yüksek Sıcaklık
TOMS	: Toplam Ozon Haritalama Spektrometre
TROPOMI	: The TROPOspheric Monitoring Instrument ESA
UHKİA	: Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı
UV	: Ultra Viole
UVAI	: Uv Aerosol İndeksi
UVS	: Kirleticilerin Uzun Vadeli Sınır Değerleri
VAP	: Buhar Basıncı
VCM	: VIIRS Bulut Maskesi
VIIRS	: Visible Infrared Imaging Radiometer Suite
VPD	: Buhar Basıncı Açığı
V _s	: 10m'de rüzgar hızı
WET	: Arazi Yüzey Nemi
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization)
WIRSEI	: Su Alanı Değerlendirmesi
WORLDPOP	: Açık Kaynaklı Nüfus Dağılım Veri Seti
WRF	: Hava Araştırması Ve Tahmini

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası	2
Şekil 1.2. Çalışma alanı İstasyon dağılım haritası (Kaynak: Google Earth)	3
Şekil 1.3. Hava kirliliği oluşum ve etki şeması (Aydınlar vd. 2009)	9
Şekil 1.4. Ulusal hava kalite indeks kesme noktaları.....	16
Şekil 3.1. Görselleştirilmiş istasyon bilgileri.....	39
Şekil 3.2. GEE verileri ile NotePad++.....	42
Şekil 3.3. Çok değişkenli veri analizleri teknikleri-1 (Elmasry vd. 2012)	43
Şekil 3.4. Çok değişkenli veri analizleri teknikleri-2 (Anonim 15).....	44
Şekil 3.5. Çoklu doğrusal regresyon modeli (Ekinci 2017).....	45
Şekil 3.6. Temel bileşenler analizlerinin (TBA) akış diyagramı (Vijayaraj 2004);	46
Şekil 3.7. Kod blokları.....	48
Şekil 3.8. ÇDR, TBR VE KEKKR temel işlemleri (Xueping 2009).....	49
Şekil 3.9. ÇDR, TBR VE KEKKR metot uygulaması işlem akış şema	50
Şekil 4.1. Histogram grafikleri.....	52
Şekil 4.2. Değişkenlerin kutu grafik şeklinde gösterimi.....	53
Şekil 4.3. Veri setindeki değişkenlerin dağılım ve saçılım grafikleri ile değişkenlerin birbiri ile korelasyonları (Korelasyon matris).....	55
Şekil 4.4. Çalışmadaki bağımlı değişkenin bağımsız değişkenler ile arasındaki ilişki ..	56
Şekil 4.5. Değişkenler arasındaki ilişki grafiği-a.....	57
Şekil 4.6. Değişkenler arasındaki ilişki grafiği-b.....	57
Şekil 4.7. Ressiduals & Fitted, Normal Q & Q, Scale & Location, Artıklar%Leverage grafikleri (a) varyans homojenlik, (b) normal dağılım analizi, (c) artık dağılımı, (d) kriter analizi	60

Şekil 4.8. Ressiduals & Fitted, Normal Q & Q, Scale & Location, Artıklar & Leverage grafikleri (a) varyans homojenlik, (b) normal dağılım analizi, (c) artık dağılımı, (d) kriter analizi	62
Şekil 4.9. Artıklar ve Fitted Values ilişkisi grafiği (x= fitted values, y= Artıklar values)	63
Şekil 4.10. Tahmin ve ölçüm değerleri grafiği	64
Şekil 4.11. Dönüştürülmüş/Dönüştürülmemiş bağımlı değişken NO ₂ yersel ölçüm ile bağımsız değişkenler NO ₂ uydu bazlı ölçüm, vs, cloToH değişkenlerin doğrusal olmayan ilişkisi grafiği.....	64
Şekil 4.12. Model.2 değişkenlerinin pearson artık kontrol grafiği	65
Şekil 4.13. Model.5'in elde edilen tahmin ve ölçülen değerlerinin karşılaştırılma grafiği	69
Şekil 4.14. Değişkenlerin birbiri ile olan ilişkilerinin grafiksel gösterimi	71
Şekil 4.15. Artık bilgisi model bilgileri	77
Şekil 4.16. VIF Sonuçları	79
Şekil 4.17. Bileşenlerin RMSE değerlerini gösteren grafik.....	80
Şekil 4.18. VIF grafiği	81
Şekil 4.19. NO ₂ yersel ölçüm değişkenimizin NO ₂ uydu bazlı ölçüm ve Nngiht değişkeni ile pozitif ilişkisi bulgusu.....	83
Şekil 4.20. Diğer bileşenlerin açıklanma oranlarının görselleştirilmesi	84
Şekil 4.21. Değişkenlerin bileşenlerdeki katkı miktar grafiği	85
Şekil 4.22. (a) Model2'nin uygun bileşeni (b) değişkenlerin model içindeki etki ve önem derecesi.....	88
Şekil 4.23. (a) Model3'ün uygun bileşeni (b) değişkenlerin model içindeki etki ve önem derecesi.....	89
Şekil 4.24. (a) Model4'ün uygun bileşeni (b) değişkenlerin model içindeki etki ve önem derecesi.....	90
Şekil 4.25. (a) Model5'in uygun bileşeni (b) değişkenlerin model içindeki etki ve önem derecesi.....	91

Şekil 4.26. (a) Model5'in uygun bileşeni (b) değişkenlerin model içindeki etki ve önem derecesi.....	93
Şekil 4.27. Bahçelievler bileşen sayısı ve VIF	96
Şekil 4.28. Demetevler bileşen sayısı ve VIF	98
Şekil 4.29. Etimesgut bileşen sayısı ve VIF i	100
Şekil 4.30. Keçiören bileşen sayısı ve VIF	102
Şekil 4.31. Sincan bileşen sayısı ve VIF	104
Şekil 4.32. Siteler m bileşen sayısı ve VIF	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Şekil 4.33. Yaygınlaştırma Çankaya bileşen sayısı ve VIF	108
Şekil 4.34. Yaygınlaştırma Mamak bileşen sayısı ve VIF	110
Şekil 4.35. Uydu görüntüsü ve SİM enterpolayon NO ₂ dağılım haritaları	115
Şekil 4.36. Kopernik arazi kullanım haritası	116
Şekil 5.1. 2021 yılı ilk altı ayın uydu görüntüsü, model tahmin enterpolasyon ve SİM enterpolasyon ve NO ₂ dağılım haritaları.....	121
Şekil 5.2. 2021 yılı ikinci altı ayın uydu görüntüsü, model tahmin enterpolasyon ve SİM enterpolasyon metodu NO ₂ dağılım haritaları.....	122

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Ankara ilindeki hava kalitesi ölçüm istasyonu olan ilçeler ve alım parametreleri (ABB 2020).....	4
Çizelge 1.2. Ankara ili kirletici kaynakları (ABB 2020).....	5
Çizelge 1.3. Değişken konsantrasyonlardaki atmosferik gazlar (Godish, 1997; Jamal vd. 2004)	7
Çizelge 1.4. Sabit konsantrasyonlardaki atmosferik gazlar (Godish, 1997; Jamal vd. 2004)	7
Çizelge 1.5. Partikül maddelerin oluşum şekilleri (Seinfeld ve Pandis, 2006; Aktaş 2018)	10
Çizelge 1.6. İnsan sağlığını koruma amaçlı farklı kirleticiler bazında dış hava kalitesi sınır değerleri (ÇŞB 2020)	14
Çizelge 1.7. Ekosistem ile bitki örtüsünü korunma amaçlı farklı kirleticiler açısından dış hava kalite sınır değerleri (ÇŞB 2020).....	15
Çizelge 1.8. Toprak ve çevredeki değişiminin önlenmesi amacıyla farklı kirleticiler bazında çökme miktarları için sınır değerleri (ÇŞB 2020)	15
Çizelge 1.9. Birincil hava kirleticilerinin hava kalitesi standartları ve limit değerleri (Aktaş 2018).....	15
Çizelge 1.10. Ankara SİM (Sürekli İzleme Merkezi) listesi (Anonim 2).....	17
Çizelge 1.11. Ulusal hava kalite indeks (hki) kesme noktaları (Saygın 2019).....	17
Çizelge 1.12. Ülkemizde hava kirliliği zamansal sınırları değerleri_(HKDYY).....	20
Çizelge 1.13. DSÖ'ye göre hava kalitesi kirleticilerinin sınır değerleri (DSÖ Avrupa Bölge Ofisi, 1987).....	23
Çizelge 1.14. EPA'nın ulusal hava kalite standartlarına göre kirleticilerin sınır değerler tablosu (EPA; 2018).....	23
Çizelge 1.15. Hava kirliliği ile ilgili uluslararası yasal çalışmalar	25
Çizelge 1.16. Hava kirliliği ile ilgili ulusal yasal çalışmalar	27
Çizelge 1.17. Ülkemizin taraf olduğu uluslararası sözleşmeler.....	28
Çizelge 2.1. Hava Kalitesinde kullanılan uzaktan algılama teknolojileri (AbdelSatter, 2019)	31
Çizelge 3.1. Veri kaynağı bilgi çizelgesi	37

Çizelge 3.2. Ankara ili için aylık NO ₂ yersel ölçüm veri sıklığı kalitesi.....	38
Çizelge 3.3. Veri setinde kullanılan katmanların ad, birim ve açıklamaları	40
Çizelge 3.4. Veri setinde kullanılan katmanların ad, birim ve açıklamaları.....	40
Çizelge 3.5. Veri setinde kullanılan katmanların ad, birim ve açıklamaları	41
Çizelge 3.6. Veri setinde kullanılan katmanların ad, birim ve açıklamaları.....	41
Çizelge 4.1. Değişkenlerin en düşük, 1.çeyrek, medyan, ortalama, 3.çeyrek değerleri	53
Çizelge 4.2. Çalışmada kullanılan değişkenlerin çarpıklık ve basıklık değerleri	55
Çizelge 4.3. Korelasyon matrisinin görselleştirilmesi	57
Çizelge 4.4. Bağımlı değişkenin her bir bağımsız değişken ile ikili ilişkisindeki “p-value” değerleri.....	59
Çizelge 4.5. Artıklar ve Katsayılar değerleri	60
Çizelge 4.6. En Düşük, 1.çeyrek, medyan, ortalama, 3.çeyrek değerleri ile değişkenlerin tahmin, std. hata, t değer, pr(> t), * tespitleri	62
Çizelge 4.7. Model.2 değişkenlerinin Pearson artık kontrol sonuçları	66
Çizelge 4.8. Model.3a’nin istatistiksel bilgileri.....	67
Çizelge 4.9. Model.3b’nin istatistiksel bilgileri	68
Çizelge 4.10. Model.4’ün istatistiksel bilgileri.....	68
Çizelge 4.11. “Kullanıcı tercihlili” metodun residual ve coefficient değerleri	70
Çizelge 4.12. Bağımsız değişkenlerin anlamlı katkı sunan değişkenler olarak belirlenmesi	71
Çizelge 4.13. RMSE, R Kare ve MAE değerleri	74
Çizelge 4.14. Cross validation metodu kullanılarak oluşturulan residual ve katsayılar değişkenleri	74
Çizelge 4.15. Düzeltilmiş R ₂ değerleri	75
Çizelge 4.16. İleri yönlü uygulaması ile elde edilen sonuçlar	76
Çizelge 4.17. Geri yönlü uygulaması ile elde edilen sonuçlar	76
Çizelge 4.18. Çift Yönlü uygulaması ile elde edilen sonuçlar.....	77
Çizelge 4.19. ÇDR işlemleri özeti	77

Çizelge 4.20. Modelin anlamlı ve anlamsız değişkenleri	78
Çizelge 4.21. Modelin normallik kontrolü test değerleri	80
Çizelge 4.22. Tolerans ve varyans enflasyon faktörü	80
Çizelge 4.23. Farklı varyans için breusch pagan testi	80
Çizelge 4.24. VIF Sayısal değerleri	81
Çizelge 4.25. “summary (model\$finalModel)” fonksiyonu ile elde edilen veriler	84
Çizelge 4.26. RMSE ve R Kare değerleri	85
Çizelge 4.27. TBR genel değerlendirilmesi	88
Çizelge 4.28. Model.1 raporu	89
Çizelge 4.29. Model.2 raporu	89
Çizelge 4.30. Model.3 raporu	91
Çizelge 4.31. Model.4 raporu	92
Çizelge 4.32. Model.5 raporu	93
Çizelge 4.33. Model.6 raporu	94
Çizelge 4.34. KEKKR metodu uygulama sonuçları toplu liste	95
Çizelge 4.35. Yeterli ve yetersiz veri sağlayan istasyonlar	96
Çizelge 4.36. Bahçelievler KEKKR model raporu	97
Çizelge 4.37. Demetevler KEKKR model raporu	98
Çizelge 4.38. Etimesgut KEKKR model raporu	99
Çizelge 4.39. Keçiören KEKKR model raporu	101
Çizelge 4.40. Sincan KEKKR model raporu	102
Çizelge 4.41. Siteler KEKKR model raporu	103
Çizelge 4.42. Yaygınlaştırma Çankaya KEKKR model raporu	105
Çizelge 4.43. Yaygınlaştırma Mamak KEKKR model raporu	106
Çizelge 4.44. İstasyon bileşen sayıları	107
Çizelge 4.45. Açıklama oranları	108

Çizelge 4.46. Modellerin bileşene göre “x” açıklama oranları	108
Çizelge 4.47. Modellerin bileşene göre “.outcome” açıklama oranları	108
Çizelge 4.48. Yer istasyon, uydu görüntüsü ve model tahmin değer tablosu.....	109
Çizelge 4.49. Yer verisi ile model verisi - yer verisi ile uydu verisi ikili korelasyon tablosu	111
Çizelge 5.1. Yer verisi ile model verisi - yer verisi ile uydu verisi ikili korelasyon tablosu	118



1. GİRİŞ

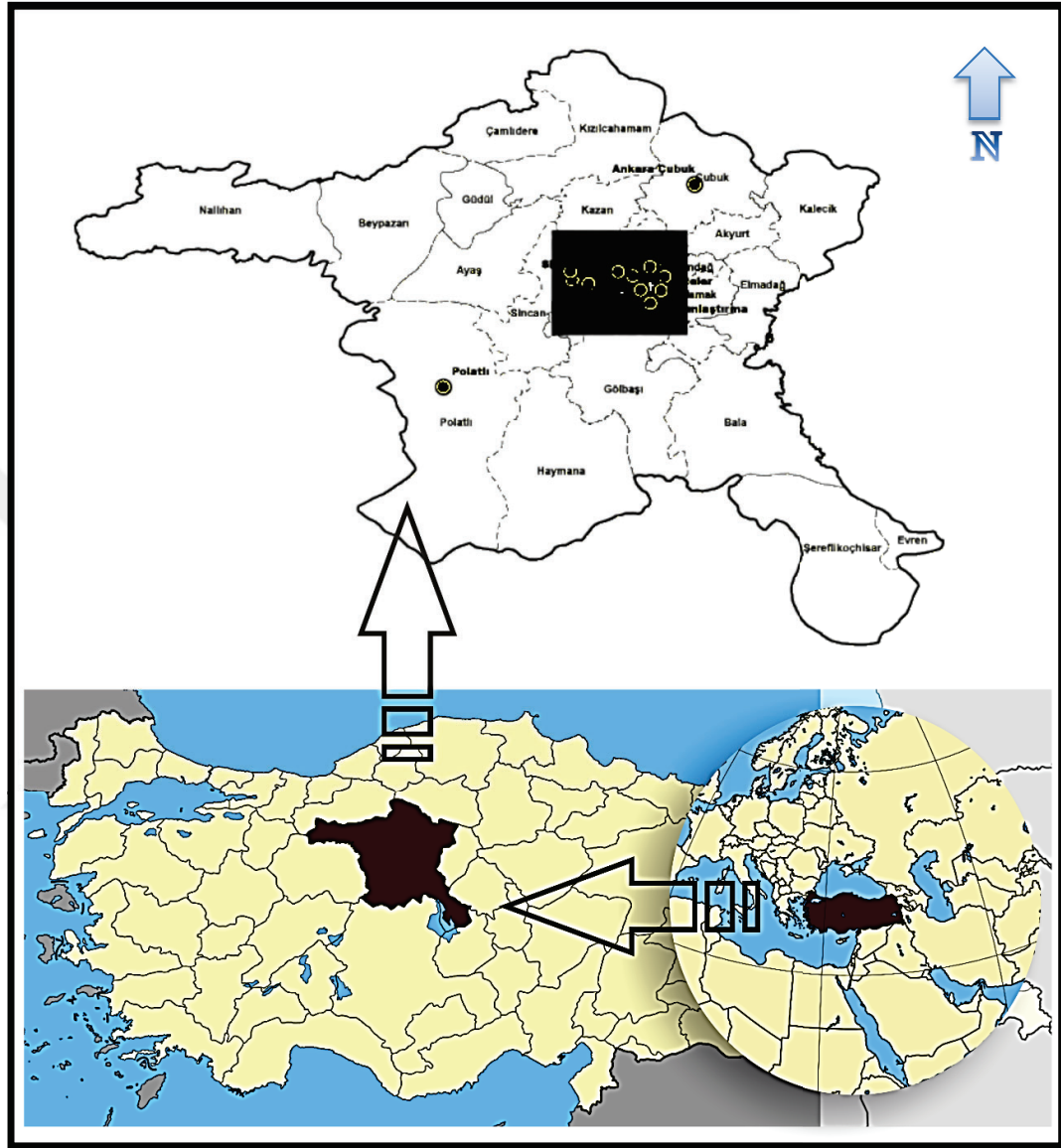
Hava kirliliği, insanlık için geçmişten bugüne büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Uzun süreli kirleticilere maruz kalmanın ölümcül hastalıklara neden olduğu uzmanlar tarafından kabul edilmektedir. Bu tehditin azaltılması amacıyla hava kirlilik tehdidinin belirlenmesi gerekir. Belirlenme metotlarından yersel yöntem klasik bir metotlardan biridir. SİM tarafından belirlenen hassasiyetlerde hava kirleticilerin ölçümleri saatlik olarak gerçekleştirilmektedir. Yersel ölçümlerine ek olarak uydu teknolojisi kullanımı ile yapılan çalışmalar da artmıştır. Doğrudan veri elde edilmesinin yanı sıra kirleticinin mekânsal dağılımı için matematiksel ve istatistiksel metotlar da kullanılmaktadır.

Uzaktan Algılama ve CBS metotları ile hava kirleticisi belirleme çalışmaları artmıştır. Bu çalışma da önceki çalışmalar gibi alana katkı sağlamak amaçlı yapılmıştır. Çalışmada yüksek maliyetli yer istasyon sayısının artırılması ile üretilen mekânsal kirlilik altlıkları yerine, uydu verileri ile açık kaynak veri setleri kullanılarak zenginleştirilmiş mekânsal altlık verisi üretimi yapılması amaçlanmıştır. NO₂ uydu ölçüm verisi ve diğer açık kaynak verileri olan OSM, TerraClimate, Sentinel2, Sentinel5 gibi veriler kullanılmıştır. NO₂ mekânsal kirlilik altlıkları üretilmesi için gerekli olan zenginleştirilmiş NO₂ değeri elde etmek, eskiden olduğu gibi günümüzde de yaygın araştırma konusu olmaya devam etmektedir.

Çalışmada, yersel NO₂ ölçüm değeri sabit referans değeri olarak alınmıştır. Bu veriyi, doğrulama verisi olarak yararlanılarak açık kaynak veri kaynaklarından elde edilen gece ışığı, buhar basıncı gibi hava kirliliği ile ilişkili veriler kullanılarak yersel referans değerleri tahmin modeli tasarımı hedeflenmiştir. Hava olayları tahmin temelinde olması nedeniyle çalışmada tahmin modeli olarak nitelendirilmektedir. Çalışmada düşük mekânsal bilgi üretimi yapan yersel istasyonların yerine açık kaynak veri kullanımı ile mekânsal hassasiyeti yüksek altlık üreten model oluşturulması amaçlanmıştır. Bu sayede ekonomik, kolay ulaşılabilir ek olarak yüksek hassasiyetli mekânsal hava kirliliği altlıkları üretilmesine sağlanmış olacaktır.

1.1. Çalışma Alanının Konumu ve özellikleri

Çalışma için seçilen bölge Ankara ili içerisinde yer almaktadır. Çalışma amacıyla belirtilen ölçümlerin düzenli alınabildiği aynı zamanda hem sanayi hem kent hem de kırsal alanlar içerdiği ve sahaya ilişkin uydu görüntülerinin nemlilik verisinden etkilenmediği bir alan olduğu için tercih edilmiştir. Çalışma sahası yaklaşık Anadolu yarım adasının Orta Batısında yer almakta ve Ankara ilinin şehir merkezindeki içleri kapsamaktadır (Şekil 1.1). Bölgenin iklimsel özellikleri karasaldır. Yaz süreci sıcaklığın yanı sıra kurak özellikte iken kış süreci soğuk olması ile birlikte yağış hâkimdir.



Şekil 1.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası

1.2. Çalışmanın Amacı

Günümüzde hava kirliliğinin ölçmek için yersel hava kalitesi ölçüm istasyonları kullanılmaktadır. İstasyonların sayıları yetersizliği nedeniyle hava kirliliğinin mekânsal dağılım haritalarındaki hassasiyet düşük olmaktadır.

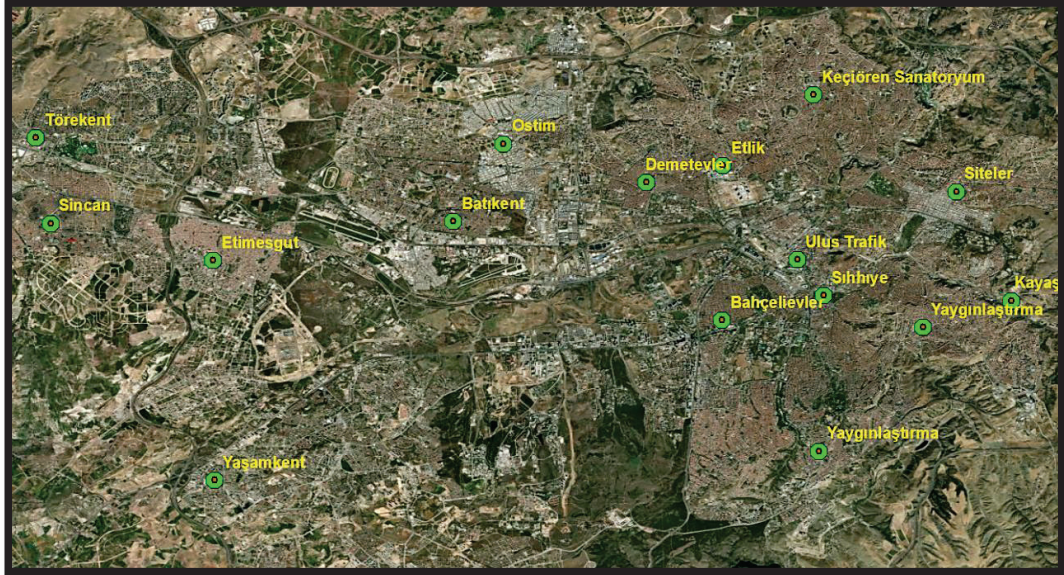
Çalışma üretilecek modelin ekonomik, kolay veri temini ve yüksek mekânsal hassasiyetli olması amaçlanmıştır. Model, günümüzde yersel istasyonlarının sayı yetersizliğini, mekânsal dağılım hassasiyet düşüklüğünü, kamunun kirlilik bilgisinin yanlışlığını ortadan kaldırmayı hedeflemiş ve belirli oranda bunu gerçekleştirdiğini

gösteren bulgulara ulaşılmıştır. Modelin açık kaynak veri platformlarından elde ettiği alansal dağılım şeklinde olan NO₂ uydu verisi ile meteorolojik verilerin modelde kullanılması ile yüksek hassasiyetli mekânsal atıklık orta konulmuştur. Noktasal veri kaynağı ile üretilen düşük mekânsal hassasiyetli altlıklara alternatif model amaçlanmış ve geliştirilmiştir.

1.3. Ankara Özelinde Hava Kirliliğinin İncelenmesi

1.3.1. Ankara sürekli izleme merkezleri

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının (ÇŞB), Ankara İli Temiz Hava Eylem Planı (2020-2024) verilerine göre, Ankara’da bulunan hava kalitesi ölçüm istasyonlarına ait bilgiler Çizelge 1.1’de verilmiştir. İzleme istasyonlarının anlık olarak aldıkları ölçüm değerleri kontrol işlemleri sonrasında ÇŞB’nin, Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı internet sitesindeki sayfadan görüntülenmektedir (Anonim 9). Tüm istasyonlar, bu veriyi anlık kaydetmemektedir. Çizelge 1.1’de anlık kayıt yapanlar “*” ile belirtilmiştir. Kirleticiler kaynak tipi ısınma, arka plan, trafik ve sanayi olarak kategorize edilmiştir. Kirleticiler ortamın arka fonu, şehrin yerleşim merkezlerinin dış kısımlarından yapılan ölçüm olarak tanımlanabilir. Ölçülen parametreler NO₂-PM₁₀-CO-PM_{2.5}-SO₂-NO-NO_x-O₃ olarak sıralanabilir ve ölçüm istasyonuna göre farklılık göstermektedir. Ankara ili özelinde kirleticiler kaynakları Çizelge 1.2’de verilmiştir. Ayrıca aşağıdaki Şekil 1.2’de çalışma alanı istasyon dağılım haritası görülmektedir.



Şekil 1.2. Çalışma alanı İstasyon dağılım haritası (Kaynak: Google Earth)

Çizelge 1.1. Ankara İlinin Hava Kalitesi Ölçüm İstasyon Olan İlçeler ve Alım Parametreleri (ABB 2020)

İstasyon Adı	Koordinat	Kaynak Tipi	Ölçülen Parametreler
Bahçelievler*	E:39.918056°, B:32.822778 °	Isınma	CO-PM ₁₀ -PM _{2.5} -SO ₂ -NO ₂ -NO _x -NO
Batıkent	E:39.953754°, B:32.726386 °	Isınma	PM ₁₀ -O ₃ -NO ₂ -SO ₂ -NO _x -NO
Çankaya*	E:39.871348°, B:32.857702 °	Isınma	CO-PM ₁₀ -PM _{2.5} -O ₃ -O ₂ , NO _x -NO ₂ -NO
Çubuk-emep*	E:40.289834°, B:33.012929 °	Arka Plan	SO ₂ - O ₃ -NO _x -NO ₂ -NO,
Demetevler*	E:39.967765°, B:32.795677 °	Isınma	SO ₂ -PM ₁₀ -PM _{2.5} -NO _x -NO ₂ -NO
Dikmen	E:39.896400°, B:32.840800 °	Isınma	SO ₂ -PM ₁₀
Etimesgut	E:39.939805°, B:32.640034 °	Isınma	CO-PM ₁₀ -PM _{2.5} -SO ₂ , NO _x -NO ₂ -NO
Etlik	E:39.973840°, B:32.822769 °	Isınma	CO-PM ₁₀ , SO ₂ , NO _x , NO ₂ , NO
Kayaş*	E:39.925278°, B:32.926667 °	Isınma	PM ₁₀ , SO ₂
Sanatoryum*	E:39.999220°, B:32.85564 °	Isınma	PM ₁₀ -PM _{2.5} -SO ₂ -O ₃ -NO _x -NO ₂ -NO
Meteoroloji	E:39.967222°, B:32.862778 °	Isınma	PM ₁₀ -SO ₂
Mamak	E:39.916789°, B:32.893922 °	Isınma	CO-PM ₁₀ -SO ₂ -NO _x -NO ₂ -NO-O ₃
Ostim	E:39.981614°, B:32.744250 °	Sanayi	PM ₁₀ -PM _{2.5} - O ₃ -SO ₂ - CO -NO _x -NO ₂ -NO
Polatlı	E:39.576615°, B:32.129461 °	Isınma	CO-PM ₁₀ -SO ₂ -NO _x -NO ₂ -NO-O ₃ ,
Sıhhiye*	E:39.926944°, B:32.859806 °	Trafik	CO-PM ₁₀ - PM _{2.5} - SO ₂ -NO _x -NO ₂ -NO-O ₃
Sincan*	E:39.953072°, B:32.581754 °	Isınma	SO ₂ -PM ₁₀ -PM _{2.5} -NO _x -NO ₂ -NO
Siteler*	E:39.964580°, B:32.90718 °	Sanayi	CO-PM ₁₀ -PM _{2.5} - O ₃ -SO ₂ -NO _x -NO ₂ -NO
Törekent	E:39.983787°, B:32.576510 °	Sanayi	CO-PM ₁₀ -PM _{2.5} -SO ₂ -NO _x -NO ₂ -NO
Ulus Trafik	E:39.940076°, B:32.849851 °	Trafik	CO-PM ₁₀ -PM _{2.5} -SO ₂ - O ₃ -NO _x -NO ₂ -NO
Ümitköy	E:39.861041°, B:32.640589 °	Arka Plan	CO-PM ₁₀ -PM _{2.5} -SO ₂ -NO _x -NO ₂ -NO
*Bu istasyonlarda anlık olarak yayın yapılmasını sağlayan yazılım mevcuttur. E,Enlem, B,Boylam			

Çizelge 1.2. Ankara ili kirletici kaynakları (ABB 2020)

Konut	Havacılık faaliyetleri
Kamu Binaları	Katı Atık Depolama Faaliyetleri
Ticari binalar	Atık su Arıtma ve Deşarj Faaliyetleri
Sokak Aydınlatmaları	Atık Yakma Faaliyetleri
İmalat ve Sanayi tesisleri	Karayolu ulaşım ve taşımacılık
Enerji Endüstrisi	Demiryolu ulaşım

1.3.2. Ankara’da hava kirliliği izleme istasyon konumlarının genel karakteristik özellikleri

İstasyonların ölçüm parametrelerini, ilçenin ve semtin dinamikleri belirlemiştir. Sanayinin olduğu lokasyonlar ile trafiğin yoğun olduğu güzergâhlarda ya da kömür ile ısınan semtlerde yapılan ölçüm parametreleri birbirinden farklı olmuştur. Bahçelievler, Ankara’nın sosyal yaşamın merkezleri olduğu, Bahçelievler’de yer alan istasyon konut, işyeri, resmi daireler nedeniyle gün içinde araç sirkülasyonu yoğun şekilde devam ettiği tespitleri yapılmıştır. İstasyon çevresinde binalarda yakıt olarak doğal gaz yakılsa da tüm hafta boyunca ve hemen her saat devam eden trafik nedeniyle hava kirliliği meydana geldiği görülmüştür. Bahçelievler’in 1 km batısında Ankara Şehirlerarası Terminalinde (AŞTİ) kirlilik kaynağı olduğu tespiti yapılmıştır. Batıdan esen rüzgârlar nedeniyle taşınım meydana gelebileceği bilgisi elde edilmiştir. Elde edilen bilgilere göre özellikle sabah saat 06.00-08.00 arasında, akşam da 22.00-24.00 saatleri arasında otobüs trafiği artış tespiti yapılmıştır. Araç sayısı en az aylık 40 bin olduğu bilgi elde edilmiştir. Yıllara göre incelemiş, 2015 Ağustos ayında 61 bin ile en yüksek araç girişi tespit edilmiştir (ABB 2020).

Cebeci’de yer alan istasyon kentsel dönüşüm binaları ve tek katlı binaların doğalgazlı konutlara dönüştüğü lokasyon olduğu bulgusu elde edilmiştir. Şehir merkezine yakın konumda olması ve özellikle hastanelere ulaşımın güzergâhında yer alması nedenleriyle trafik yoğunluğunun ortasında kalmış olduğu tespit edilmiştir (ABB 2020).

Demetevler istasyonu konut merkezli ve eski binaların birbirine çok yakın oldukları gözlenmiştir. Isınmada genellikle kömür kullanıldığı bilgisine ulaşılmıştır. Çankaya’da yer alan istasyonda ısınma doğalgaz ile yapıldı bilgisi elde edilmiş olsa da bu bölgede trafik yoğunluğu oldukça fazla oldu tespiti yapılmıştır. Ana arterlerin bol olması, özellikle sabah ve akşam saatlerinde meydana gelen trafik yoğunluğuna neden olmakta olduğu vurgusu yapılmıştır (ABB 2020).

Kayaş istasyonu ilk aşamada arka fon kirliliğini tespit etmek amaçlı kurulmuş olsa da şehrin büyümesiyle konutların arasında kalmıştır. Kayaş’ta hem tek katlı gecekondular hem de yeni inşa edilen apartmanlar yer almıştır. Trafik yoğunluğu çok olmayıp şehir merkezinden uzak konumda ve Sanatoryum istasyonu Keçiören sınırları içinde yer aldığı tespit edilmiştir. Isınma genelde doğalgaz ile yapılması ve özellikle trafik ışığı ve kavşaklarda sabah ve akşam saatlerinde kirlilik meydana gelmesi durumu belirtilmiştir (ABB 2020).

Sihhiye istasyonu şehir merkezinde, trafik yoğunluğunun oldukça yüksek olduğu lokasyonda bulunması ve birçok semti birbirine bağlayan yolların kesiştiği bir noktada yer aldığı tespit edilmiştir. Toplu taşıma duraklarının da merkezi şeklindedir bulgusu elde edilmiştir (ABB 2020).

Sincan istasyonu şehir merkezi dışında yer almış hızlı konutlaşma, küçük ile orta ölçekli sanayilerin yer alması nedeniyle OSB'sine fazlasıyla yakın konumda kaldığı bilgisi elde edilmiştir (ABB 2020).

Siteler istasyonunda mobilya imalathaneleri yer alması ve aynı zamanda bu bölgede yerleşim alanları da bulunması önemli bir bulgu olmuştur. Hem katı yakıt hem de doğalgaz ısınma amaçlı kullanıldığı ve elde edilen bilgilere göre 1400 haneden 390 tanesinde doğalgaz kullanıldığı bilgisi elde edilmiştir (ABB 2020).

Sitelerde irili ufaklı birçok imalat atölyesi yer almış olduğu ve bacalarından çıkan katı yakıt gazları genelde yollara doğru çıktığı izlenmiştir. Sitelerin batı kısmında kereste imalathaneleri bulunduğu ve bu imalathanelerde kurutma işlemi yapıldığı bilgisi elde edilmiştir. Yanma olayının meydana gelmesi burada hava kirliliğini tetikleyen unsurların olduğunu tespiti yapılmıştır (ABB 2020).

1.3.3. Ankara ili iklim değişikliği eylem plan çerçevesindeki hizmetler

ÇŞB'nin T.C. İklim Değişiklik Eylem Planı 2011 ile 2023 yıllarını kapsayacak şekilde yayınlanmıştır. Bu kapsamda Ankara'da da diğer illerde olduğu gibi çeşitli çalışmalar yürütülmektedir. Ankara ili için hava kirliliğinin artması ile birlikte 2021 yılı içinde Ankara Valiliğince çalışmaları yapan Temiz Hava Eylem Plan ile Mahalli Çevre Kurulu gerekli gördüğü tedbirleri belirlemiştir. Bu amaçla kurumlara düşen görevlerin tanımı yapılmıştır. Bu çalışmalar kurumların sorumluluk alanları, almaları gereken tedbirler, maliyet hesapları gibi çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar ise valilikçe ilgili bakanlığa gönderilmiştir sağlanmıştır (Ankara Valiliği 2021).

1.4. Atmosfer ve Hava Kirliliği

Atmosfer, yeryüzümüzü çevreleyen hava tabaka katmanına denilmektedir. Yaklaşık yer yüzeyinden 560 kilometreyi kapsamaktadır. Katmanları arasındaki belirgin farklardan biri sıcaklık değişimidir. Atmosfer, farklı seviyelerde değişen gazların bir karışımıdır. Kütlesi ile hacminin yaklaşık %78'ini NO₂ oluşturmaktadır. Bu gaz karışımının günlük ve mevsimsel değişimi insan sağlığını önemli dercede etkilemektedir (Jamal vd. 2004). Atmosferdeki gaz miktarları Çizelge 1.3'de ve sabit Çizelge 1.4'de olmak üzere iki kısımda verilmiştir.

Çizelge 1.3. Değişken konsantrasyonlardaki atmosferik gazlar (Godish, 1997; Jamal vd. 2004)

Gaz	Formül	Konsantrasyon (ppmv)
Su buharı	H ₂ O	0.1-300 000
Karbondioksit	CO ₂	360
Metan	CH ₄	1.72
Azot oksit (Nitrojen oksit)	NO	0.33
Karbonmonoksit	CO	0.11
Ozon	O ₃	0.02
Amonyak	NH ₃	0.004
Azot dioksit	NO ₂	0.001
Kükürt dioksit	SO ₂	0.001
Azot dioksit	N ₂ O	0.0005
Hidrojen sülfür	H ₂ S	0.00005

Çizelge 1.4. Sabit konsantrasyonlardaki atmosferik gazlar (Godish, 1997; Jamal vd. 2004)

Gaz	Formül	Konsantrasyon (ppmv)
Nitrojen	N ₂	780 840
Oksijen	O ₂	209460
Argon	Ar	9340
Neon	Ne	18.18
Helyum	He	5.24
Kripton	Kr	1.14
Hidrojen	H ₂	0.50
Ksenon	XeO ₂	0.09

1.4.1. Atmosferin özellikleri

Atmosferin en önemli özelliği oksijen bulundurmasıdır. Bunun yanı sıra atmosferde su buharı bulunur. Atmosferin varlığı yeryüzünün çok ısı artışı ve çok ısı kaybını önler. Atmosfer, dünyanın dönüşüne uyumlu dönmektedir. Bu katkısı ile yangıların oluşmasını sağlamaktadır. Güneş ve Uzay kaynaklı zararlı ışınlar karşı koruyucu bir görev yapmanın yanı sıra dünyamızın karanlıkta kalabilecek yerlerine ışınım taşıyarak aydınlanmasını ve ısınmasını sağlamaktadır. Yeryüzünün aşınma nedenlerinden bir tanesi de atmosfer etkileşimidir (MEB 2011).

1.4.2. Atmosferin katmanları

Atmosferin katmanları Troposfer, Statosfer, Mezosfer, Termosfer, İyonosfer, Eksozfer'dir. Rüzgârlar ve hava olayları Troposfer'de olmaktadır. Gazlar yaklaşık %80 civarı bu alanda bulunmaktadır. Statosfer ısı dengesine katkısı büyüktür ayrıca UV ışınlarını filtre etmektedir. Meteorların yok edildiği katman mezosfer'dir. Son katman ise Termosfer ve onun alt katmanlarıdır (Anonim4).

1.4.3. Meteorolojik faktörler

Hava kirliliğini etkileyen meteorolojik faktörler; sıcaklık, bulutluluk, rüzgâr, basınç, nisbi nem, sis ve yağış olarak sıralanabilir. Bulutlu havalarda güneş ışınları kava kirliliğinden dolayı yeryüzüne ulaşmada zorluk çeker. Rüzgar hava kirleticilerinin taşınmasında rol oynayan en önemli parametredir. Basınç farklılıkları rüzgar hızının artmasına ve yağış oluşumlarına neden olur. Havadaki nem oranına bağlı olarak sis oluşur. Sis özellikle kış aylarında SO_3 ile havadaki su tanecikleri (H_2O) ile birleşerek canlılar için risk oluşturan H_2SO_4 oluşumuna neden olur. Yağışlarla havadaki kirleticiler yeryüzüne iner, bu da kirlilik oluşumunu artırmaktadır (Aktaş 2018).

1.4.4. Çalışmada kullanılan terraclimate veri setleri

TerraClimate; WorldClim veri kümesindeki yüksek uzamsal çözünürlüklü klimatolojik normalleri, diğer kaynaklardan alınan daha kaba çözünürlüklü zamana göre değişen (yani aylık) verilerle birleştirilerek iklim destekli enterpolasyon kullanır ve aylık yağış, En yüksek ve En düşük sıcaklık, rüzgar hızı, buhar basıncı ve güneş radyasyonu gibi veri kümeleri üretir (Abatzoglou vd. 2018). Bu çalışmada da sıcaklık (En Düşük, En yüksek), buhar basıncı, buhar basıncı açığı, rüzgar hızı, ortalama ışık parlaklık değeri, bulut optik derinliği katmanları kullanılmıştır. Çalışmada bu katmanların seçilmesinde mekansal dağılım kalitesine göre iyi olan meteorolojik katmanlar seçilmiştir. Düşük mekânsal hassasiyetli katmanlar seçilmemiştir. Ayrıca literatür taramasında öne çıkan katmanlar tercih için öncelikli olmuşlardır. TerraClimate veri setinden türetilen iklim değişkenlerinin performansı analiz ve kalibre edilebilirdir (Lemenkova 2022).

Çok yüksek uzamsal çözünürlüğe sahip (4638.3 m) TerraClimate, çeşitli iklim değişkenleri sunan, aylık periyota sahip bir iklim veri seti sağlar. TerraClimate' in toplam 14 veri seti bulunmaktadır. Bu veri setlerinden sıcaklık; en yüksek, en düşük olarak elde edilir ve ortalama sıcaklık bu veri setlerinden hesaplanmaktadır. Sıcaklık verisi çok çeşitli çalışmalarda farklı amaçlarda kullanılmıştır. Çalışma alanındaki hava kirliliği konusunda ise az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu özellik çalışma motivasyonumuz olmuştur. Gelişen açık kaynaklı yazılım dil kullanım ile çalışmada alana katkı sağlamak amaçlı açık kaynak yazılım dilinde (R) model oluşumu yapılmıştır. Sıcaklığın hava kirliliğine etkilerini tespit etmek için TerraClimate kullanımı bu anlamda önem arz etmektedir. Bulut optik derinliği veri seti inceleme yapılan alanın bulut üst sınırı yüksekliğini verir.

Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS), Gündüz/Gece Bandından (DNB) gece verileri kullanılarak aylık ortalama parlaklık bileşik görüntüleri oluşturur. Bir diğer veri seti ortalama ışık parlaklık değeridir. Bu değer nitel olarak kentsel ölçekte görüntü kontrastının hava kalitesinde değişiklik gösterebileceğini ve nicel olarak gece boyunca ışık yoğunluğundaki değişikliğin $\text{PM}_{2.5}$ yüzeyinde değişim oluşturduğunu göstermektedir. DNB olarak nitelendirilen bu ışık şiddeti; rüzgar hızı, yüzey basıncı, su buharı miktarı gibi değişkenlerle karşılaştırıldığında yüksek korelasyon göstermektedir. DNB ışık yoğunluk değişiminin basit çoklu değişkenli regresyon modeli, yalnızca meteorolojik değişkenlerin dikkate alındığı modele kıyasla yüzeydeki $\text{PM}_{2.5}$ tespit etmede daha iyi sonuçlar vermektedir (Wang vd. 2016).

VAP, atmosferdeki buhar basıncı; VPD, atmosferik kuruluğu gösteren bir göstergedir. Belirgin bir sıcaklıktaki buhar basıncı olan basınça doymuş buhar basıncı denilmektedir (Anonim 4).

İklim değişikliği ve kuraklık tespitinde VPD duyarlılığı dikkate alınmalıdır. Kuraklık TerraClimate veri tabanı ile tespit edilebilir. Bu da buhar basıncı açığı ile ilişkilidir (Roibu vd. 2022).

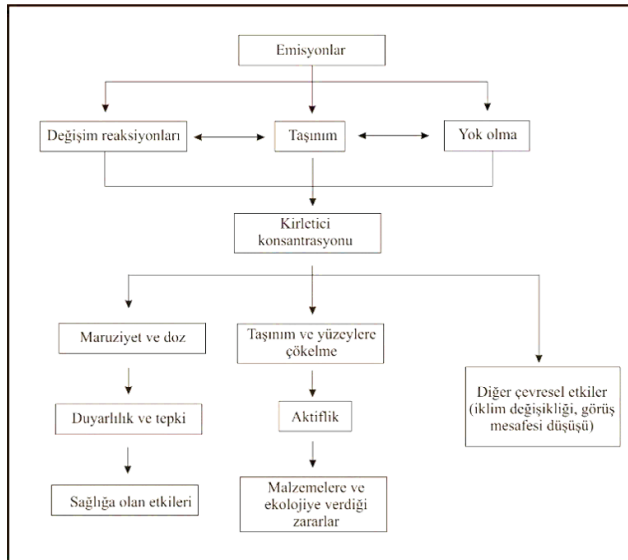
Rüzgar hızı (WS) m/sn olarak ifade edilir. WS, TerraClimate ile tespit edilebilecek verilerden biridir. Hava kirliliği çalışmalarında rüzgar hızı önemli rol oynamaktadır. Düşük rüzgar hızının bitki solunumunda CO₂ geri dönüştürülmesini sağlamakta olduğunu tespit edilmiştir (Liv vd. 2022).

1.5. Hava Kirliliği ve Hava Kirleticileri

İnsan etkisi ve doğal olarak oluşan faaliyetler ile temiz havanın kalitesindeki düşüşe hava kirliliği denilmektedir. Bu kirlilik bir seviyenin üstünde olması insan hayatını riske atmaktadır. Temiz hava olarak H₂O, O, Ar, CO₂, diğerleri (Ne, He, CH₄, Kr, CO, O₃, NH₃, NO₂ ve SO₂) gazları % 78.09, % 20.94, % 0.93, % 0.03 ve geriye kalan oranlar şeklinde sıralanmaktadır (Anonim 4).

Bu miktarı değiştiren her şey kirleticiler olarak tanımlanmaktadır. Bu kirleticiler insan faaliyetleri olan motorlu taşıtlar, ısınma ile ilgili yakıtlar yanı sıra doğa da olan orman yangınları, volkanik patlamalardan çıkan partiküller gibi etki kaynakları bulunmaktadır. Kirleticiler kaynakları açısından iki gruba ayrılmaktadır (Mangır 2014).

Kirleticilerin reaksiyonları, taşınımı ve yok olma süreçleri Aşağıdaki Şekil.1.3’de ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Hava kirliliği oluşum ve etki şeması (Aydınlar vd. 2009)

1.5.1. Partikül madde (PM)

Havada asılı vaziyette duran sıvı ve katı parçacıklara partikül madde (PM) denilmektedir (EPA 2019; TMMOB ÇMO 2022). $PM_{2.5}$ bu maddeler içerisinde kalp kriz ile felç gibi hastalıklara neden olmaktadır. Astım ataklı sağlık rahatsızlıklarında bu kirlenici etkisi büyük oranda olmaktadır.

Bu küçük boyuttaki partiküller hava hareketlerinden olan rüzgar etkisi ile uzak mesafelere ulaşabilmektedir. Bu nedenle yüzey suları kirlenmekte ve asidik etkiye neden olmaktadır. Toprak ihtivasında olan yararlı besinlerin oluşum düzenini bozmakta ve bitkisel yaşama zarar vermektedir.

PM kirlenici sadece doğa ve insan zararları açısından risk oluşturmamaktadır. Bu kirlenici dış ortamda olan sanat eserleri üzerinde de zararlı etki yaratmaktadır (EPA 2021; TMMOB ÇMO 2022). Oluşum şekilleri açısından PM ve gazlardaki yayılma şekilleri Çizelge 1.5’de verilmiştir

Çizelge 1.5. Partikül maddelerin oluşum şekilleri (Seinfeld ve Pandis, 2006; Aktaş 2018)

Aerosol ve aerokolloidler	Gazlardaki yayılan küçük tanecikler
Partikül	Katı ve katı sıvı olarak $500\ \mu m$ ’den küçük ve $0.001\ \mu m$ ’den büyük parçacıklar
Toz	Mekanik olarak eylemler sonucunda havada asılı kalan $1\ \mu m$ ’den büyük olan katı şekilde olan parçacıklar
Sis	Buz ya da su şeklinde ve görülebilen özellikteki aerosollerin yaygın biçimi
Füme	$1\ \mu m$ ’den küçük uçucu hale geçmiş ve yoğunlaşmamanın yanı sıra oksitlenme kimyasal etkileşim olmuş erimiş maddelerdir.
İnce sis, pus	Toz, su damlası ve kirlenici şeklinde olan görüş mesafesinde azalmaya neden olan aerosol maddelerdir.
Buğu	$1\ \mu m$ boyutunda havada asılı şekilde yüzey seviyesinde ya da atmosfere yayılmış olan sıvılardır.
Duman	Yakılabilen ve karbon şeklinde olan maddelerin farklı maddelerden ayrı şekilde gözlenebilen özellikteki oranda ortam içinde bulunan $0.01\ \mu m$ ’den küçük yetersiz yanma eylemi kaynaklı parçacıklardır.
İs	Karbon ihtiva eden bileşenlerin yetersiz şekilde yanması ile meydana gelen katran içerikli parçacıklardır.

1.5.2. Karbon monoksit (CO)

CO kaynaklı kirlenme, O_3 ve CO_2 oluşumuna neden olmaktadır. Bu sera gazları atmosferi ısıtmaya neden olmaktadır. Büyük orandaki CO miktarı organ ve dokuya ulaşan oksijen seviyesini düşürmektedir. Bu da kalp hastalıklarına neden olmakta ve sağlık kuruluşlarına bu nedenle başvurular olmaktadır (EPA 2021; TMMOB ÇMO 2022).

CO doğal ve yapay kaynaklardan oluşabilmektedir. Dünyadaki karbon emisyonunun %70'ten fazlası ulaşım nedeniyle meydana gelmektedir. Karbon monoksit kandaki oksijenin taşıma kapasitesini azaltır. Bu ise birçok hastalığı neden olmaktadır. Bu hastalıklara uyku halinde artış, enerji düşüklüğü, nefes alış verişinde zorlanma, bulanma, baş dönme artışı gibi örnekler verilebilmektedir. Bu ise ileri seviyelere ulaştığında ölümlere neden olmaktadır (Akteş 2018).

1.5.3. Nitrojen ve sülfür oksitler (NO_x ve SO_x)

Azot oksitlenmiş türler, azotoksit (N_2O), dinitrojen trioksit (N_2O_3), dinitrojen tetraoksit (N_2O_4), azot dioksit (NO_2), dinitrojen pentoksit (N_2O_5), azot monoksit (NO) şeklinde sıralanabilir, NO ve NO_2 birlikte NO_x olarak bilinir ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$). (Uyar 2006; Öner 2014). Yüzey sularındaki N_2 doygunluk seviyesinde artışa ve plankton ile alg fazlaşmasına sebep olmaktadır. Bu ekosistem üzerinde kontrolsüz değişikliklerine neden olmaktadır (TMMOB ÇMO 2022). Ana NO kaynakları, atmosferin yanma süreçlerinden kaynaklanır, bu da önemli derişimlere neden olur.

Kaynaklar, antropojenik ve doğal kaynaklar olmak üzere ikiye ayrılarak incelenebilir. Antropojenik kaynaklar; yakma, enerji üretimi, N_2 içeren kompost kullanımı, biokütle yakımı, endüstriyel süreçler, doğal kaynaklar ise mikrobiyolojik süreçler, orman yangınları, şimşek olarak örneklendirilebilir (TMMOB ÇMO 2022).

Yanma sürecinde hava içindeki azotun oksitlenme ile oluşması, yakıt içinde bulunan azot oksitlenmesi ve yakıtın alevlenmesi ile oluşan olmak üzere NO_x üç adettir (EPA 1995; Öner 2014).

NO_x ve benzeri riskli hava kirleticileri halk ve çevre sağlığını yüksek oranda tehdit altında bırakmaktadır. Bu etkenler ile asit yağmurları oluşumuna kaynak oluşturmaktadır. Oluşan bu tehdit ile insana, bitkilere ve göl, deniz gibi alanlardaki çevreyi tehdit etmektedir. Bu zararların yanı sıra NO_2 , NH_4 , NO_3 , O_3 , HNO_3 , Peroksiasetil nitrat gibi oluşumuna neden olmaktadır (Öner 2014).

Hava kirliliğinde sülfat parçacıkları oluşumu atmosferin ısında düşüşe neden olmaktadır. Bitki örtüsü ve su gibi doğal sisteme zarar vermektedir. Yüzey suların ayrıca toprağın civalaşmasına neden olmaktadır (EPA 2019; TMMOB ÇMO 2022).

1.5.4. Azot dioksit (NO_2) ve kükürt dioksit (SO_2)

Nitrojen oksitler (NO_x) ile Nitrojen dioksit (NO_2) yüksek reaktif özellikte olan gazlardır. NO_2 'nin en büyük kaynağı ısınma kaynaklı ve araç kaynaklı etkenlerdir. Ne kadar çok maruz kalınır ise o oranda insan sağlığını riske atmaktadır. Toplumun hassas kesimi olan yaşlılar ve çocuklar bu kirleticiler altındaki en riskli gruptur (EPA 2021; TMMOB ÇMO 2022).

EPA kurumu SO_2 gazı için Ulusal Ortam Hava Kalitesi Standartları açısından SO_x gazları içindeki SO_2 atmosferde az oranda bulunmaktadır. Bu gaz en tehlikeli gaz grubu içindedir. SO_2 gazının kirletici kaynakları enerji santral, sanayi tesisler ve fosil yakıt tüketimi verilebilir. Bu gaz doğayı ve insan sağlığını büyük oranda tehdit etmektedir. Astım bu gazın en büyük etkisi altında olan rahatsızlıktır. SO_2 oranındaki

artış SO_x yani kükürt oksitlerin artışına neden olmaktadır. Atmosfer etkileşimi buna neden olmaktadır. PM artışı yani partikül madde artışı bu partiküllerin artması ile doğru orantılıdır. Bu artış akciğer hastalıklarını tetiklemektedir (EPA 2021; TMMOB ÇMO 2022).

1.5.5. Ozon (O₃) ve kurşun (Pb)

O₃'un üst atmosferde oluşması ve tekrar yok olması bir denge olayıdır. Moleküler oksijenin güneş ışınları (hv) reaksiyonu solunumda oksijen atomlarına ayrılır ve oksijen atomu, oksijen molekülleri ile birleşerek O₃ meydana getirir (Tuna 1977).

Dalga boy < 243 nm kısa olan güneş ışınları aşağıdaki formülde görüldüğü şekilde oksijen molekülünü atom parçaların ayırmaktadır (Tuna 1977).



Atmosferdeki atomik azot, NO haline;



reaksiyonu ile geçer. Bu NO de O₃'u parçalar ve NO₂ ve O₂ haline getirir.



Bunların yanı sıra klor ve klor oksit de O₃'u yok etmek için kuvvetli bir katalizördür.



O₃ akciğer üzerinde negatif etkisi bulunmaktadır. Nefes almakta zorluk ve öksürük belirtileri görülmektedir. Amfizem ile astım rahatsızlıkları akciğer ile rahatsızlıklarını artırmaktadır. Bu negatif etki bitkilerde fotosenteze negatif etkisi olmakla birlikte canlılarda üreme ile gelişmeye negatif etkisi olmaktadır. Tarımsal üretimde zararları olmaktadır. O₃ ile zarar gören bitki yapısı CO₂ alımda düşüşe neden olmaktadır. Atmosferdeki sera gazı ısınma artışında O₃ etkisiyle önemli ölçüde olmaktadır (EPA 2021; TMMOB ÇMO 2022).

Kurşun (Pb), birçok farklı endüstriyel tesiste kullanılan zehirli bir ağır metaldir. Ağır metallerin havada asılı kalması risk oluşturabilmektedir. Özellikle pil, kurşun yakıtlı uçaklar, atık yakma tesisleri; kurşunun kirletici kaynakları olarak sayılabilir. Kurşun vücutta böbrek, karaciğer, sinir sistemi etkiler. Bunun sonucunda da zekâ geriliği, hiperaktivite, öğrenme güçlüğü, davranış sorunları, hafıza kaybı gibi birçok sağlık sorununa neden olabilmektedir (Aktaş 2018).

1.5.6. Hava kirletici kaynakları

Hava kirliliği; zararlı etkiler yaratmak için yeterli olacak oranlarda havada istenmeyen maddelerin bulunmasıdır. Bu maddeler sınır değerleri aşması durumunda insan sağlığına, bitki örtüsüne veya çevrenin her unsuruna zarar verebildiği gibi kötü koku, kahverengi ve puslu hava gibi durumlar gibi insan yaşam kalitesini etkileyebilmektedir (Nevers 1995; Jamal vd. 2004). Hava kirleticileri doğal ve yapay kirletici olmak üzere iki kısımda ele alınır. Bina içinde ve açık alanlarda olan kirliliklere iç hava kirliliği ve atmosfer kirliliği olarak sınıflandırılmaktadır (Akdur 2009). Hava kirliliği insan kaynaklı olduğu kadar doğal süreçlerle de meydana gelebilmektedir. Volkan patlamaları, orman yangınları, rüzgârda savrulan tozlar bunlara örnek olarak verilebilir. İnsan kaynaklı kirleticiler yoğun nüfus oranına sahip büyük kentlerde artış göstermektedir (Jamal vd. 2004).

Nüfusun artışı ile birlikte enerji artışı olmaktadır. Buna paralel enerji tüketimi artmaktadır. Bu değişim kentlerde yaşayan insanları tehdit eden bir etken olarak boy göstermektedir (Koike 2004; Karabaş 2012). Kentlerde yerleşim alan sorunu nedeniyle bir arada yaşama zorunluğu olması kirlenen havanın büyük insan topluluklarını etkilemesine neden olmuştur. Bunların yanı sıra hava kirliliği meteorolojik olaylardaki değişikliklere neden olmaktadır. Sel, aşırı yağışlar, hortum, hava sıcaklığındaki artış gibi anormal doğa olayları ekosistemi tehdit etmektedir. Ayrıca topografik yapıyı da değiştirmektedir (Stenfors 2004; Karabaş 2012).

Büyüyen sanayi ile birlikte gerekli teknolojik altyapının kalitesinde artışın olmaması ve modernleşmemesi sonucu hava kirliliği sorunu ortaya çıkmıştır. Bu kirliliğin olmaması için temiz enerji kullanımı gerekmektedir. Vasıfsız yakıt kullanımı, filitresiz baca ve kontrolsüz boşaltım sistemleri ve personel eğitim yetersizliklerinin önüne geçilmesi ile hava kirliliğinin azalmasına katkı sağlamaktadır (Karabaş 2012).

Isınma araçları olarak eski metot soba gibi teknoloji ile kullanılan odun ve kömür gibi kalitesiz yakıtların yanı sıra doğal gaz kullanımının pahalı olmasından tercih edilmemesi kirlenmeyi artırıcı etkilere örnek verilebilmektedir (Karabaş 2012).

Gelir seviyesinde artış ile doğru orantılı olan hava kirliliği gelirin artışı ile kaliteli yakıt kullanımının artmasına neden olmaktadır. Bu durum hava kirliliğinde düşüşe neden olmaktadır. Fosil yakıt kullanımı azalması ile egzoz gazında önemli derecede düşüş etkisi görülmektedir. Araçların egzoz kontrollerinin yapılması ve toplu taşımanın artırılması hava kirliliğinin önemli derece azalmasına neden olmaktadır (Karabaş 2012).

1.6. Hava Kirliliğinin Ölçümü

1.6.1. Hava kalitesi ölçüm yöntemleri

Sanayi tesisleri bulundukları bölgede faaliyet göstermesiyle o bölgede ek bir kirlenmeye sebep olur. Bu etkiye Hava Kirlenmesine Katkı Değerleri (HKKD) denilmektedir. Bu tesislerin kirletmesi yanı sıra arka plan kirletici olan mevcut durum kirleticileridir. Bunlar ev ısınma yakıtları, trafikteki egzoz gazları gibi etkilere arka plan

kirleticileri denilmektedir. Yasal belirleyiciler olan yönetmeliklerde hava kalitesi seviyeleri dikkate alınmaktadır.

İnsanların sağlığı korunması amacıyla hava kalitesinde sınır değerler Çizelge 1.6’da verilmiştir (ÇŞB 2020). Hava kirlilik seviye ölçüm ve tespit ölçme planlamada, ölçüm sıklığında, ölçüm yükseklik belirlenmesinde yönetmelik kriterleri temel alınmaktadır (MEB 2011)

Çizelge 1.6. İnsan sağlığını koruma amaçlı farklı kirleticiler bazında dış hava kalitesi sınır değerleri (ÇŞB 2020)

Kirleticiler	Konsantrasyonlar ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ortalama dönemler	İzinli olana yıllık aşım sayısı
Benzen	5	Yıllık	-
Kurşun ile organik kurşun bileşik (PM_{10} içeriği)	0.5	Yıllık	-
Kadmiyum ile inorganik kadmiyum bileşik (PM_{10} içeriği)	0.02	Yıllık	-
PM_{10}	40	Yıllık	-
	50	Günlük	35
SO_2	50	Yıllık	-
	125	Günlük	3
	350	Saatlik	24
NO_2	40	Yıllık	-
	200	Saatlik	18
Tetrakloroethen	10	Yıllık	-
Çöken toz ($\text{g.m}^2/\text{gün}$)	0.35	Yıllık	-

İzinli bir tesisin etkisi alanındaki bitki örtüsü ve ekosistemde korunması amacıyla aşılmanması gerekli olan hava kalite sınırları değeri Çizelge 1.7’de verilmiştir.

Çizelge 1.7. Ekosistem ile bitki örtüsünü korunma amaçlı farklı kirleticiler açısından dış hava kalite sınır değerleri (ÇŞB 2020)

Kirleticiler	Konsantrasyonlar ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ortalama dönemler	Amaç
SO_2	20	Yıllık Kış	Ekosistem
NO_x	30	Yıllık	Bitki örtüsü
HF	0.4 0.3	Yıllık Yıllık	Genel olarak hassas olan hayvanlar, bitkiler ya da yapı korunması

İzne tabi bir tesisin etki alanında, çevrenin ve toprak değişimlerinin önlenmesi amacıyla aşılması gereken çökeltme miktarlarına ilişkin sınır değerler Çizelge.1.8’de verilmiştir. Hava kalitesi ölçümünde çeşitli standartlar yer almaktadır. Bu standartlar WHO, EPA, EEA ve Türkiye’de uygulananlar olmak üzere sınıflandırılabilir. Çizelge 1.9’da hava kalitesine ait standartlar ve limit değerleri yer almaktadır (Aktaş 2018).

Çizelge 1.8. Toprak ve çevredeki değişimin önlenmesi amacıyla farklı kirleticiler bazında çökeltme miktarları için sınır değerleri (ÇŞB 2020)

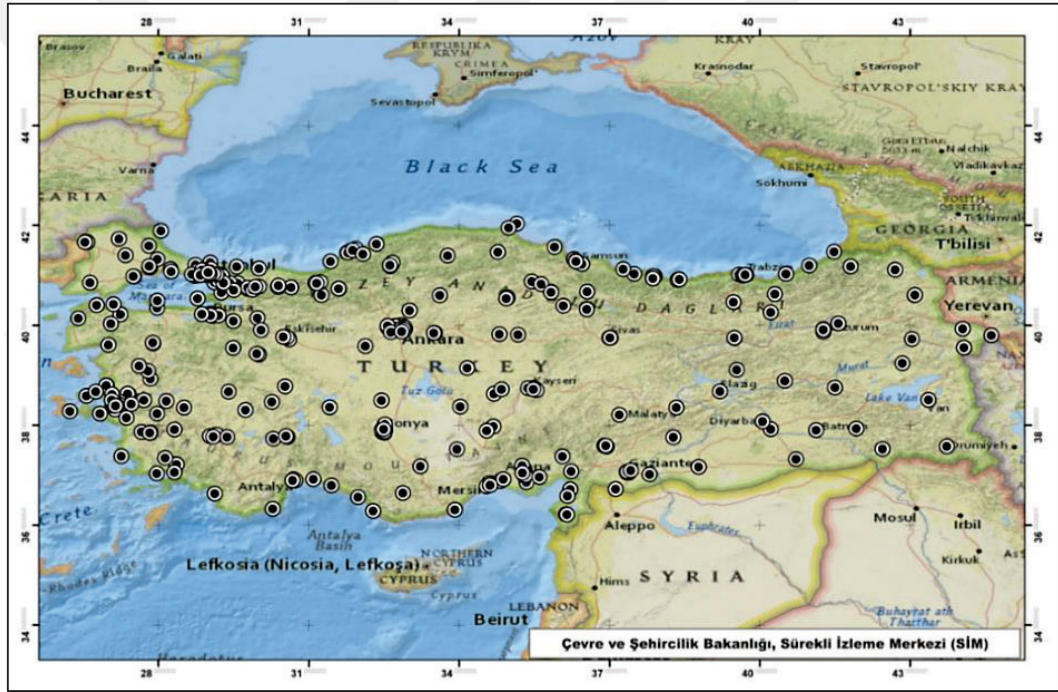
Kirleticiler	Çökeltme miktarı ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ortalama dönemler
Arsenik ile inorganik bileşikler	4	Yıllık
Kurşun ile inorganik bileşikler	100	Yıllık
Kadmiyum ile inorganik bileşikler	2	Yıllık
Nikel ile inorganik bileşikler	15	Yıllık
Cıva ile inorganik bileşikler	1	Yıllık
Talyum ile inorganik bileşikler	2	Yıllık

Çizelge 1.9. Birincil hava kirleticilerinin hava kalitesi standartları ve limit değerleri (Aktaş 2018)

Kirletici	WHO	EPA	EEA	Türkiye
SO ₂	500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (10 dk)	195 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1 saat)	350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1 saat)	500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1 saat)
	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 saat)	1300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (3 saat)	125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 saat)	250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 saat)
NO ₂	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1 saat)	188 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1 saat)	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1 saat)	300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 saat)
	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1 yıl)	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1 yıl)	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1 yıl)	60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1 yıl)
PM ₁₀	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 saat)	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 saat)	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 saat)	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 saat)
	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1 yıl)		40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1 yıl)	60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1 yıl)
PM _{2,5}	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 saat)	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 saat)	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1 yıl)	
	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1 yıl)	12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1 yıl)		
O ₃	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (8 saat)	157 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (8 saat)	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (8 saat)	
		235 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1 saat)		120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (8 saat)
CO		40 mg/m ³ (1 saat)	10 mg/m ³ (8 saat)	
		10 mg/m ³ (8 saat)		
Pb		0.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (3 ay)	0.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1 yıl)	1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1 yıl)

1.6.2. Türkiye’deki sürekli izleme merkezleri

Ülkeler belirlemiş olduğu sınırlar bulunmaktadır. Standart bir değer bulunmamaktadır. Ülkemiz, AB ile belirlenmiş olan EPA hava kalite indeksi yönetmelikleri ile sınır değerlerine uygun Ulusal Hava Kalite İndeksi oluşturulmuş ve uygulanmaktadır. Beş ana kirletici ölçülmektedir. Bunlar NO_2 , O_3 , PM, SO_2 ve CO’dur. Bu kirleticiler 6 adet kategorik sınıfa ayrılmaktadır. ÇŞB’nin 2005 ile 2007 yılları arasında illerin tamamına ölçüm istasyonu kurulmuştur. İllerin kirliliğin azaltılması ana politikadır (Saygın 2019). 330 adet tesis çalışmaktadır. ÇŞB web sitesinde bulunan hava izleme ağda çevrimçi olarak sunulmaktadır (Anonim 2). Çizelge 1.10’da Türkiye’de bulunan ölçüm istasyonlarının listesi yer almaktadır. Ulusal Hava Kalite İndeks Kesme Noktaları ise Çizelge 1.11’de gösterilmiştir (Saygın 2019). Ayrıca bu çizelgenin haritalanması ise Şekil 1.4’de görülmektedir.



Şekil 1.4. Ulusal hava kalite indeks kesme noktaları

Çizelge 1.10. Ankara SİM (Sürekli İzleme Merkezi) Listesi (Anonim 2)

İl	İlçe
Ankara	Bahçelievler
	Batıkent
	Demetevler
	Etimesgut
	Etlik
	Kayaş
	Keçiören
	Ostim
	Polatlı
	Sincan
	Siteler
	Sıhhiye
	Törekent
	Ulus
	Yaşamkent
	EMEP

Çizelge 1.11. Ulusal Hava Kalite İndeks (HKİ) Kesme Noktaları (Saygın 2019)

İndeks	HKİ	SO ₂ [µg/m ³]	NO ₂ [µg/m ³]	CO [µg/m ³]	O ₃ [µg/m ³]	PM ₁₀ [µg/m ³]
		1 saat ortalama	1 saat ortalama	8 saat ortalama	8 saat ortalama	24 saat ortalama
İyi	0 ile 50	0 ile 100	0 ile 100	0 ile 5500	0 ile 120	0 ile 50
Orta	51 ile 100	101 ile 250	101 ile 200	5501 ile 10000	121 ile 160	51 ile 100
Hassas	101 ile 150	251 ile 500	201 ile 500	10001 ile 16000	161 ile 180	101 ile 260
Sağlıksız	151 ile 200	501 ile 850	501 ile 1000	16001 ile 24000	181 ile 240	261 ile 400
Kötü	201 ile 300	851 ile 1100	1001 ile 2000	24001 ile 32000	241 ile 700	401 ile 520
Tehlikeli	301 ile 500	> 1101	> 2001	> 32001	> 701	> 521

1.6.3. Türkiye’de hava kirliliği ölçüm verileri

Hava kirliliği önlenmesi için bazı tedbirlerin alınması önem arz etmektedir. Bunlara ilk sırada ölçüm istasyon sayısının artırılması örnek verilebilir. Ölçüm istasyonlarının sayısının artırılmasının yanı sıra bakım, onarım ve kalibrasyonlarının zamanında yapılması, elde edilen verilerin sürekli olarak kontrol edilmesi ve izlenmesi, istatistiksel olarak verilerin tutulması, negatif değer ölçümlerinin ortadan kaldırılması diğer tedbirler olarak sıralanabilir. Bunların yanı sıra yerel ve küçük ölçekte hava kirlilik modellerinin yapılması tehlikeli alanlardaki tedbirlerin sağlanmasını

kolaylaştıracaktır. Uygun bütçelerin sağlanması ile alınacak bu yeni tedbirlerle hava kirlilikleri tamamen önlenemese de azaltılabilecektir. Ülkelerin mevzuatlarında $PM_{2.5}$ ölçüm değerlerinin de eklenmesi hava kirliliğinin azaltılmasında etkili olacaktır. Kalitesiz kömür kullanımı azaltılmalı, ilçe bazında denetimler arttırılmalıdır. Özellikle termik santrallerin yaratacağı olumsuz etkileri azaltmak için o bölgelerde farklı denetleme prosedürleri geliştirilmelidir. Alınacak tüm bu önlemlerle iklim değişikliği azaltılabilecek, ekosistem ve insan yaşamına verilecek olumsuz etkiler en aza indirilebilecektir (TMMOB ÇMO 2022).

Hava kirliliğini miktarını düşürmek ve disiplin altına alabilmek amacıyla gerekli olan tedbirler acil/alarm önlemleri, kısa ve uzun süreli önlemler olmak üzere üç başlıkta ele alınabilir. Acil/alarm önlemleri; sanayi bölgelerinde çalışmalarını durdurmak, evsel ısıtma durumlarında belli saat ve günlerde sınırlamalar yapmak, ulaşımda tek ve çift plakalara göre trafiğe çıkmak, çocuklar, yaşlı, gebe ve solunum sıkıntısı çekenlerin sokağa çıkmasının kısıtlanması, kitle halinde hastalıklara karşı hastanelerde hazırlıkların yapılması tedbirlerini kapsar. Kısa vadeli olan tedbirler olarak yerleşim alanlarındaki hava kirlilik ölçütleri, uzun vadeli sınır değerlerin aşılması durumunda ve kalıcı çözümlerin gerçekleştirilmesi oluncaya kadar düşük düzeyde tutulması gereken önlemler olarak yapılmaktadır. Uzun erimli önlemler; kent planlaması, enerji elde etmede fosil yakıtlar yerine alternatif kaynakların tercih edilmesi, sanayi enerjisinin doğal gazdan elde edilmesi, ulaşımda araçların yeni teknolojiye uygun hale getirilmesi gibi tedbirleri kapsar (Akdur 2009).

2008 tarihinde ilk defa yayınlanan ve 2009 yılında ekleme yapılan “Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği” (HKDYY) ülkemizi uluslararası standartlara getirmeyi amaçlamıştır. Aşağıdaki Çizelge 1.12.’de bu sınır değer ve bilgiler bulunmaktadır.

Çizelge 1.12. Ülkemizde Hava Kirliliği Zamansal Sınırları Değerleri_(HKDYY)

Kirleticiler ve Ortalama Süreler (Avrupa Limit)	2008 ve öncesi	Geçiş Dönem Sınır Değerleri								Hedeflenen Sınır Değerleri								AB'nin Sınır Değerlerine Ulaşılabilecek Tarih
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	
SO ₂ (µg/m ³)	Saatlik (350 µg/m ³)	900	900	900	900	900	500	470	440	410	380	350	350	350	350	350	350	01.01.19
	24 Saatlik	400	370	340	310	280	250	225	200	175	150	125	125	125	125	125	125	01.01.19
PM ₁₀ (µg/m ³)	Yıllık - Kış Dönem (Ekosistem Korunma amacıyla)	-	-	-	-	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	01.01.14
	24 Saat (50 µg/m ³)	300	260	220	180	140	100	90	80	70	60	50	50	50	50	50	50	01.01.19
NO ₂ (µg/m ³)	Yıllık	150	132	114	96	78	60	56	52	48	44	40	40	40	40	40	40	01.01.19
	Saatlik (200 µg/m ³)	300	300	300	300	300	300	290	280	270	260	250	250	250	250	250	250	01.01.24
NO ₂ (µg/m ³)	24 Saat	100	92	84	76	68	60	56	52	48	44	40	40	40	40	40	40	01.01.24

NO _x (µg/m ³)	Yıllık (Vejetasyon Korunma amacıyla)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	01.01.19		
CO (µg/m ³)	Maksimum Günlük 8 Saatlik Ortalama	-	-	-	-	-	16	14	12	10	10	10	10	10	10	10	10	01.01.17		
O ₃	Mayıs Ayından Temmuz Ayına Kadar olan 1 Saatlik Değerler ile Hesaplanan AOT40	Bu kirleticinin 2008 ile 2021 yılları arasındaki hedef değeri belirlenmemiştir.														18000 (µg/m ³ .saat)		01.01.22		
	Bir yıldaki Maksimum Günlük 8 Saatlik Ortalama	Bu kirleticinin 2008 ile 2021 yılları arasındaki hedef değeri belirlenmemiştir.														120	120	120	01.01.22	
Pb (µg/m ³)	Yıllık	2	1.8	1.6	1.4	1.2	1	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	01.01.19		
C ₆ H ₆ (µg/m ³)	Yıllık	-	-	-	-	-	10	10	10	9	8	7	7	7	7	7	7	01.01.21		
As (µg/m ³)	Hedef Sınırın Değeri - Yıllık	Bu kirleticinin 2008 ile 2019 yılları arasındaki hedef değeri belirlenmemiştir														6	6	6	6	01.01.20

Cd ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Hedef Sınırın Değeri - Yıllık	Bu kirleticinin 2008 ile 2019 yılları arasındaki hedef değeri belirlenmemiştir	5	5	5	5	5	5	01.01.20
Ni ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Hedef Sınırın Değeri - Yıllık	Bu kirleticinin 2008 ile 2019 yılları arasındaki hedef değeri belirlenmemiştir	20	20	20	20	20	20	01.01.20
B(a)P	Hedef Sınırın Değeri - Yıllık	Bu kirleticinin 2008 ile 2019 yılları arasındaki hedef değeri belirlenmemiştir	1	1	1	1	1	1	01.01.20

1.6.4. Hava kalite indeksi

Hava kirlilik bilgisinin vatandaş tarafından kolay algılanabilmesi amacıyla hava kirliliği kalite indeksi oluşturulmuştur. Bu bilgi havanın sağlıklı ve sağlıklı olduğunu insanlara bilgi vermektedir. Günlük raporlanma sıklığındadır (Karabaş 2012).

DSÖ, insan sağlığının risk altında olması engellemek amacıyla uzman görüşler doğrultusunda hava kalitesi kuralları yayınlamış ve geliştirmektedir (Çizelge 1.13.). Oluşturulan kurallar dört kirleticiciye göre hazırlanmıştır (Saygın 2019).

Çizelge 1.13. DSÖ'ye göre hava kalitesi kirleticilerinin sınır değerleri (DSÖ Avrupa Bölge Ofisi, 1987)

Kirleticiler	Süre					
	10 dk	1 saatlik	8 saatlik	24 saatlik	Yıl	Aşım Sayısı
PM _{2,5}				25 µg/m ³	10 µg/m ³	3 kez
PM ₁₀				50 µg/m ³	20 µg/m ³	3 kez
SO ₂	500 g/m ³				30 µg/m ³	
NO ₂		200 g/m ³			40 µg/m ³	
O ₃			100 g/m ³			
CO			10.000µg/m ³			

A.B.D Çevre Koruma Ajans kuruluşu (U.S. Environmental Protection Agency-EPA), A.B.D.'de hava kalitesi ve stratosferik O₃ gazının korunması amaçlanarak temiz hava yasası çıkarmıştır. Mevcut standartlar Çizelge 1.14'de verilmiştir (WHO 2018; Saygın 2019).

Çizelge 1.14. EPA'nın ulusal hava kalite standartlarına göre kirleticilerin sınır değerler tablosu (EPA; 2018)

Kirleticici	Süre				
	10 dk	1 saatlik	8 saatlik	24 saatlik	Yıl
PM _{2,5}				35 µg/m ³	12 µg/m ³
PM ₁₀				150 µg/m ³	
SO ₂		75 ppb			
NO ₂		100 ppb			53 ppb
O ₃			0.070 ppm		
CO		35 ppm	9 ppm		

1.7. Hava Kirlilik Modellemesi

Hava kirliliğinin modellenmesi çeşitli kirleticiler ile atmosferik durumlara ait etkilerin bir arada değerlendirilmesi, mekânsal olarak lokasyonların incelenebilmesi, riskli alanlara önlemler alınması gibi faydalar sunmaktadır. Teknolojinin ilerlemesi ile hava kirliliği modellemesine olan ilgi de artmıştır. Buna bağlı yazılımların geliştirilmesi, istatistiksel değerlendirmeler yapılabilmesine olanak sağlamakla kalmayıp büyük veri içinde de kolay analizler yapabilmeyi sağlamaktadır.

Hava kalite modelleme çalışmalarındaki belirsizlik, düzenli ve düzensiz olmayan belirsizlikler şeklinde iki adettir. Düzenli olan belirsizlikler olarak model yapısı ve

modele girilen verilerden kaynaklanmakta iken düzenli olmayan belirsizliklerin kaynağı ise atmosferik ile ölçüm esnasında meydana gelen rasgale olan türbülansdır. FB ile MG parametleri ile düzenli hataları ölçmekte iken RMSE, NG ve NMSE hem de düzenli hem de düzenli olmayan hatalar belirleyebilmektedir.

1.8. Türkiye’de Hava Kirliliği Sorun ve Önlemleri

Türkiye’deki hava kirliliği sorunu ilk olarak 1950’li yıllarda meydana gelmiştir. 1951 ile 1961 yılları arasında Murgul bakır fabrikasındaki gazlar çevreye verilen zararın ilk örneklerindendir (Saygın 2019). 2019 yılında ülkeler arasında kirlilik üzerine yapılan araştırmaya göre Türkiye’de hava kirliliğinden yılda 39985 kişi hayatını kaybetmiştir (GAHP 2019). Türkiye’de hava kirliliğinin temel nedeni düzensiz şehirleşme ve çevre ile uyum sağlayamayan endüstriyel tesislerin varlığıdır (MEB 2011). Şehir bölge planlamacılığına verilen değerin sonradan oluşması ile kentleşmenin olumsuz etkileri ortaya çıkmaktadır. Mekânsal olarak kentsel nüfusun genişleyeceği öbek tahminlerinin önceden yapılmaması altyapı tesislerinin tekrarlı inşasına neden olmuştur. Bu durum kentlerde çevre kirliliğinin temel sorunu olmakla birlikte aynı zamanda hava kirliliğini de etkilemektedir. Bu düzensiz yapı sanayileşmede de gözlenmektedir. Yerleşim merkezlerine yakın endüstriyel tesislerin varlığı insan sağlığına olumsuz etki yaratan sonuçlar doğurabilmektedir. Özellikle göç alan illerde bu durumun izleri belirgin şekilde gözlenmektedir. Yeşil alanların azalmasına bağlı betonlaşma bu durumu tetiklemiştir.

Türkiye’de özellikle 50’li yıllardan sonra hızı giderek artan düzensiz kentleşmenin etkileri büyük kentlerde etkisini göstermiştir. Bu durumdan en çok etkilenen il o dönemde gerek kentleşme gerekse sanayileşme kaynaklı fosil yakıtların kontrolsüz olarak yakılması nedenleriyle Ankara’dır (Saygın 2019). Bu kirliliğin etkilerini azaltmak üzere “Temiz Hava Anlaşması” ile olumsuz etkilerin azaltılması amaçlanmıştır (Sümer, 2014; Zülfikar, 2014; Saygın 2019). Bu antlaşmanın ardından çeşitli yasa değişiklikleri ve yönetmeliklerle kontrol sağlanmaya çalışılmıştır. Özellikle 2000’li yıllarda bu yasal adımlar atılsa da hatırı sayılır ilerlemeler elde edilememiştir. Bunun üzerine 2005 yılı “Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği” ve 2008 yılı “Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği” yayınlanarak Avrupa ile Dünya’da kabul gören standartların yakalanması hedeflenmiştir (Saygın 2019).

Kentleşme ve sanayileşmenin getirdiği hava kirliliği etkisi sadece konut ve tesislerde yakılan yakıtlardan kaynaklanmamıştır. Bu durumun doğal bir sonucu olarak artan araç sayısı ile trafik yoğunluğunda ciddi oranda artış meydana gelmiştir. TÜİK verilerine göre 2022 yılı başı itibariyle 25 milyonu aşkın trafiğe kayıtlı kara taşıtı bulunmaktadır. Bunların %70’lik kısmını otomobil ve kamyonetler oluşturmaktadır. Toplam araç sayısının yalnızca %10’u elektrik ve hibritli araçlardır (Anonim 3).

Diğer bir husus da artan enerji ihtiyacını karşılamak için kurulan termik santrallerdir. Türkiye’de 2022 yılı itibariyle 50’den fazla termik santral bulunmaktadır. Jeolojik açıdan linyit ve taşkömürü açısından önemli rezerve sahip olması nedeniyle kullanımı artan termik santraller aynı zamanda çevresel açıdan da risk oluşturmaktadır (Anonim 3).

1.9. Yasal Çalışmalar

Bu bölüm kendi içinde iki bölüme ayrılarak ele alınmıştır. İlk bölüm Dünya'daki genel çabalar ikinci bölümde ise ülkemizdeki çalışmalar olarak ele alınmıştır.

1.9.1.Dünya'da hava kirliliği önleyici çalışmalar

Hava kirliliği endüstriyel faaliyetlerin artması, nüfus artışı ve buna bağlı olarak atık birikimi nedeniyle geçmişten bugüne kadar dünya çapında ciddi bir sorun haline gelmiştir. Endüstri devrimi ile insanların kullandıkları yakıtların hava kirliliğine neden olduğu görülmüş ve gerekli yasal düzenlemeler yapılmaya başlanmıştır.

İngiltere'de hava kirliliği sonucu binlerce insan hayatını kaybetmiş ve ilk hava kirliliği yasası çıkartılmış ve kömür kullanımına ilişkin kısıtlamalar uygulanmıştır (Abas 2011). 19.yy'a kadar yerküre üzerinde 1.3 milyar insanın belirlenen limit değerlerinin üstünde yaşadığı tespit edilmiştir (Streets vd. 2013). Dünyanın birçok yerinde Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve yerel kurumlar tarafından belirlenen limit emisyon değerleri kullanılmaktadır (Aumann vd. 2013). 2030 yılına kadar küresel ölçekte kirletici emisyonlarında beş katlık olumsuz bir yükselme öngörülmektedir. (Streets vd. 2013).

Bu bölümde hava kirliliği ile ilgili uluslararası yasal çalışmalar kronolojik olarak aşağıdaki Çizelge 1.15'de verilmiştir.

Çizelge 1.15. Hava kirliliği ile ilgili uluslararası yasal çalışmalar

Yıl	Gelişme	Referans
13.yy	Nüfus artışı ve sanayileşmeye bağlı olarak insanoğlunun, gereksinimleri artmıştır. Buna bağlı olarak ormanlık alanların azalmasıyla beraber kömür kullanımında artış gözlemlenmiştir. Fosil yakıt tüketimi sonucu hava kirliliği meydana gelmiştir. 1300'lü yılların sonlarına doğru hava kirliliği ile alakalı ilk düzenlemenin yapıldığı yer Londra olmuştur.	[Gimpel 2004]
13.yy	İngiltere'de Kral Edward, dumanın neden olduğu olumsuzlukları engellemek adına bir yasa çıkartmak için bir komisyon kurmuştur.	[Christy 1960]
18.yy	Amerika'da 18.yy'ın sonlarında duman emisyonlarını azaltmak için uygulamalar başlatılmış ve Şikago kenti hava kirliliği ile mücadele eden ilk kent olarak bilinmektedir.	[Saraçoğlu 2017]
19.yy	19.yy başlarında hava kirliliği ile ilgili büyük organizasyonlar gerçekleştirilmiş ve Hava Kirliliği Kontrol Derneği kurulması hedeflenmiştir.	[Christy 1960]
1926	Duman Azaltımı Yasası ile endüstriyel faaliyetler sonucu oluşan duman emisyonlarının neden olduğu olumsuzlukların azaltılması amaçlanmıştır.	[Yavan 2018]
1936	Duman kaynaklı emisyonları azaltmak için 1936 yılında Kamu Sağlığı Yasası çıkarılmıştır.	[Parker 1961]
1950	1950'li yıllarda hava kirliliğinin ana sebebi kömür kullanımı olmuştur.	[Sümer 2014]
1956	Hava kirliliğine bağlı olarak artan ölümler nedeniyle 1956 yılı Temiz Hava Yasası yürürlüğe girmiş ve linyit kömür kullanılmasına sınırlandırılma getirilmiş ve Londra'da %80 oranda duman kirliliği azaltılmıştır.	[Funda 2018]
1958	Dünya Sağlık Örgütü hava kirliliği sorunu ile ilgili 1958 yılında "hava	[Saraçoğlu 2017]

	kirliliği” isimli bilimsel kanıtların paylaşıldığı bir yayın çıkartmıştır.	
1964	Hava Kirliliği Engellemek ve Çevreyi Korumak Birlikleri (IUAPPA), hava kirlilik konusunda çalışmalar yürütmek için kurulan ilk sivil kuruluştur.	[UAPPA 2022]
1963	Bulgaristan’da Su, Hava ve Toprak Kirlenmesinin Önlemesi Yasası	[Sümer 2014]
1964	Belçika’daki Temiz Hava Yasası	[Sümer 2014]
1968	Japonya’daki Hava Kirlilik Kontrolü Yasası	[Sümer 2014]
1974	Hava Kirliliği Kontrolü Kanunu ile kükürte yönelik sınırlamaları içeren düzenlemeler yapılmıştır.	[Yavan 2018]
1981	Hindistan 1981’deki Hava Kirlilik Önlenmesi ve Kontrol Yasa’sı ile hava kirliliği konusunda yasal tedbirler almaya başlamıştır.	[Sümer 2014]
1983	Birleşmiş Milletlerin(BM) Avrupa Ekonomik Komisyonu (AEK) Uzun Menzil Sınır Ötesi Hava Kirlilik Sözleşmesi 19.yy’ın sonlarına doğru gündeme getirilmiş ve 1983’te 24 ülkenin onaylaması ile yürürlüğe girmiştir.	[Saraçoğlu 2017]
1997	1997 yılında Ulusal Hava Kalitesi Stratejisi yayımlanmış ve 2005 yılına kadar geçen süreçte Birleşik Krallık’ta hava kalitesi hedeflerine ulaşma angajmanı belirlenmiştir.	[Yavan 2018]
2000-2005	Dünya Sağlık Örgütü(DSÖ), 2000 ve 2005 yıllarında yayınladığı kılavuz ile canlıları olumsuz etkileyecek kirlleticiler için limit değerleri tavsiye etmiştir.	[Who 2022]
2008	14 Nisan 2008 yılında Avrupa Birliği, hava kalitesini izlemek ve neden olduğu olumsuzlukları azaltmak için direktif yayımlamıştır.	[Bayram 2006]

1.9.2.Türkiye’deki hava kirliliği önleyici çalışmalar

Hava kirliliği, zararlı maddeleri içeren ve ciddi anlamda insan sağlığını tehdit eden ortam koşulları olarak tanımlanmaktadır (Zencirci 2017). Hava kirliliği, doğal olaylar ve antropojenik faaliyetler sonucu ortaya çıkmaktadır (Bayram 2006). İnsan sağlığı için son derece önemli olan hava kirliliği ile ilgili dünya genelinde yasal düzenlemeler yapılmıştır.

Bu yasalar; insan sağlığını koruma, çevre kalitesini iyileştirme, kirliliğin azaltılması ile ilgili yasal düzenlemeleri içermektedir. Yasalar gereği düzenli ölçümler almak ve ölçümlerin değerlendirilmesi gerekmektedir. Hava kirliliği yasaları, her ülke için çeşitli kurumlar tarafından oluşturulmakta ve bu sebeple farklılıklar içerebilmektedir.

Türkiye’de hava kirliliği ile ilgili yapılan yasa ve mevzuatlar başlıca şunlardır:

- Çevre Kanunu
- Hava Kirliliği Yönetmeliği
- Çevre İzleme ve Değerlendirme Yönetmeliği

Bu yasalar ve yönetmelikler hava kirliliğine karşı alınacak tedbirleri içermekte ve uygulama ile ilgili mevzuatları belirtmektedir.

Özellikle kirlletici emisyonlar için sınır değerleri Çevre Kanunu ve Hava Kirliliği Yönetmeliği gibi yönetmelik ve yasalarda vurgulanmıştır. Ülkemizde yürürlüğe giren yasa ve yönetmelikler aşağıdaki Çizelge 1.16'da ve Çizelge 1.17'de verilmiştir. (Mevzuat 2022).

Çizelge 1.16. Hava kirliliği ile ilgili ulusal yasal çalışmalar

Yıl	Gelişme	Referans
1930	1930 yılında oluşturulan Umumi Hıfzıssıhha Kanunu'nda ilk kez nüfus sayılarına göre yeşillendirmeyi ve hava kirliliğini önlemeyi amaçlayan maddeler yer almaktadır.	[Saraçoğlu 2017]
1950	Hava kirliliği sorunu kontrolsüz nüfus artışı, endüstrileşme ve plansız kentleşme ile artan yakıt ihtiyacı sebebiyle Türkiye'de 1950'lerde halk sağlığı için tehdit olarak ortaya çıkmıştır.	[Funda 2018]
1961	Ülkemizin Ekonomik İş birliği ve Kalkınma Teşkilatı Üyeliği	[OECD 1960]
1972-1977	1972 yılındaki Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı "Yakıt Tüketiminde Ekonomi Sağlanması ve Şehirlerde Isıtma Tesislerinin Sebep Olduğu Hava Kirliliğinin Azaltılmasına Dair Yönetmelik" yürürlüğe girmiştir. 1973 yılında yaşanan Petrol Krizi sonrası yeniden düzenlenerek 1977 yılında "Isıtmak ve Buhar Tesislerindeki Yakıt Tüketimindeki Ekonomi Sağlanması ve Hava Kirlilik Etkisinin Azaltılma Yönetmeliği" adını almıştır.	[Sümer 2014]
1973-1978	3. Kalkınma Plan (Çevre sorunlar Başlık)	[Köksal 2019]
1978	Başbakanlık Çevre Örgütü'nün kurulması	[Köksal 2019]
1982	1982 anayasasının 56. maddesi hava kirliliği ile ilgili temel prensipleri içermektedir.	[Aydın 2011]
1983	Çevre Kanunu	[Köksal 2019]
1983	Birleşmiş Milletler(BM) Uzun Menzil Hava Kirlilik Sözleşmesi	[Köksal 2019]
1986	Hava kirliliğini doğrudan ilgilendiren, yasal dayanağını 2872 sayılı Çevre Yasası'ndan alan Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği 1986 yılında yürürlüğe girmiştir. Çok kapsamlı olması nedeniyle diğerlerinden farklıdır.	[Garipağaoğlu 2017]
1991	Çevre Bakanlığının Kurulması	[Köksal 2019]
1998	Ulusal Çevre Eylem Planı'nın tamamlanması	[Köksal 2019]
2003	Çevre ve Orman Bakanlığı Kurulması Avrupa Çevre Ajans (EEA) Üyeliği	[Köksal 2019]
2004	Endüstriyel Kaynaklı Hava Kirlilik Kontrol Yönetmeliği	[Resmi gazete 2022]
2004	Benzin ve Motorin Kalite Yönetmelik ile taşıtlardan kaynaklanan emisyonların neden olduğu kirliliğin azaltılması, ölçümü, uygun yakıtların belirlenmesi amaçlanmıştır.	[Resmi gazete 2022]
2005	Isınmadan Kaynaklı Hava Kirlilik Kontrolü Yönetmeliği ile ısınmadan kaynaklanan duman, toz, gaz, buhar, is ve aerosol gibi kirlleticilerin oluşturduğu olumsuzluğu azaltmaya yönelik uygulamalar belirlenmiştir.	[Resmi gazete 2022]
2005	Sağlık Bakanlığı ile Refik Saydam Hıfzıssıhha Merkezince işletilmekte olan hava kalitesi ölçüm istasyonlarının Orman Bakanlığı'na devir işlemi.	[Köksal 2019]
2006	Endüstri Tesisleri Kaynaklı Hava Kirlilik Kontrol Yönetmeliği ile enerji ve enerji tesislerinin üretim aşamasında atmosfere yaydığı emisyonların kontrol altına alınması amaçlanmıştır.	[Resmi gazete 2022]
2007	Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı	[Köksal 2019]
2008	Marmara Temiz Hava Merkezinin Kurulması	[Köksal 2019]
2008	Hava Kalite Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği ile hava kalitesinin değerlendirilmesi ve halkın bilgilendirilmesi amaçlanmıştır.	[Resmi gazete 2022]
2009	Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği	[Resmi gazete 2022]

2009	Egzoz Gaz Emisyonu Kontrol Yönetmeliği	[Resmi gazete 2022]
2011	Çevre ve Şehircilik İklim Değişikliği Bakanlığının Kurulması	[Köksal 2019]
2015	Diğer Bölgesel Temiz Hava Merkezlerinin Kuruluşu	[Köksal 2019]

Çizelge 1.17. Ülkemizin taraf olduğu uluslararası sözleşmeler

Yıl	Gelişme	Referans
1983	Uzun Menzilli Sınır Ötesi Hava Kirlilik Sözleşmesi	[CSB 2022]
1990	O ₃ Tabakası Korunmasına yönelik Viyana Sözleşmesi	[CSB 2022]
1990	O ₃ Tabakası İncelten Maddelere Dair Montreal Protokolü	[TBMM 2022]
2004	BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi	[MFA 2022]
2009	Kyoto Protokolü	[MFA 2022]

2. KAYNAK TARAMASI

Geçmişten günümüze hava kirliliği konusunda her meslek disiplini çalışmalar yürütmüştür. İnsan sağlığını tehdit eden hava kirliliği günümüzde sanayileşmenin artması ile daha da artmış bulunmaktadır. Hava kirliliği ile ilgili çalışmalar iki bölümde ele alınmıştır. İlk bölüm “Yasal Alandaki” çalışmalardır. Bu çalışmalar yasal ve yönetmelik gibi çalışmaları kapsamaktadır. İkinci bölüm ise çalışma alanımız olan “CBS ve Uzaktan Algılama Alanındaki” çalışmalar olacak şekilde ele alınmış ve aşağıdaki bilgiler sunulmuştur.

Uydu görüntüleri zamansal çözünürlük ve kapsadığı alan açısından hava kirliliği yönetiminde önemli bir değer olmuştur. Landsat, AVHRR ve GOES uydusunun 1970’li yıllarda ortaya çıkmasıyla beraber okyanus üzerindeki toz parçacıklarını gözlemlemek ve volkanik aktivite sonucu gelen sülfatı tanımlamak mümkün olmuştur. NO₂, SO₂, NH₃ VE CO gibi kirleticilerin haritalanması çalışmaları yapılmıştır. Petrol limanları ve kent bölgelerinde bu gazların çok fazla olduğu tespiti yapılmıştır (Abdelsattar 2019).

NASA tarafından 1978 yılında uzaya gönderilen Nimbus 7 uydusunda bulunan Toplam O₃ Haritalama Spektrometre (TOMS) cihazı ile troposferdeki hava kirliliğini izleme çalışması yapılmıştır. Daha sonra bu cihazların volkanik SO₂, Troposferik O₃ hakkında da bilgi verebileceği anlaşılmıştır (Stolarski vd. 1991).

Bir başka çalışma ise 1995’te Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından kirleticiler gazların küresel dağılımını takip etmek için kullanılan ERS-2 uydusu üzerindeki Küresel O₃ İzleme Deneyi (GOME) sensörü ile devam etmiş ve 2003 yılında sona ermiştir. 231 ile 794 nm arasındaki geçirim aralığı irdelenmiştir (Burrows vd. 1999).

2000 yılında Terra uydusu üzerindeki Troposferde Kirliliğin ölçülmesi (MOPITT) cihazı ile karbon monoksit (CO) ölçümleri gerçekleştirilmiş ve yine Terra uydusu üzerinde bulunan Çok Açılı Görüntüleme Spektro Radyometresi (MISR) ile atmosferik aerosol parçacıkların miktarı ve türünün belirleme çalışmaları yapılmıştır (Anonim 8).

2002 yılında SO₂, CH₄, CO kirleticiler gaz ölçümleri görevini gerçekleştirmek

amacıyla Aqua uydusu ile Atmosferik Kızılötesi (AIRS) cihazı uzaktan algılama görevine başlamıştır. NASA tarafından 2004 yılında fırlatılan Aura uydusundaki O₃ İzleme (OMI) ve Troposferik Emisyon Spektrometresi (TES) cihazları ile SO₂, O₃, NO₂, HCHO gibi emisyon değerleri ölçülebilir olmuştur. Çalışmada NO gazının troposferdeki varlığının tespiti ve doğrulaması ek olarak ele alınmıştır. Kentsel ölçek ve bulut kirliliğine karşı çözüm önerileri geliştirilmiştir (Martin 2008).

2006 yılında Meteorolojik Operasyonel (MetOP) uydusunda bulunan GOME-2 ve Kızılötesi Atmosferik Sondaj İnterferometresi (IASI) sensörleri ile NO₂, O₃, SO₂, CO, AOT ve NH₃ emisyonları ölçülmüştür. GEE platformu verileri kullanılarak Covid-19 salgın ortamını kullanarak mekânsal altlıklar oluşturulmuştur. AOD değerinin gazlar üzerindeki farklı etkileri ortaya konmuştur (Ghasempour 2021).

Gupta vd. (2007), Terra ve Aqua uyduları kullanılarak AOT verisi üzerinde PM 2.5 konsantrasyonu elde edilmiş ve yer istasyonları ile karşılaştırılmıştır. İkili arasında anlamlı ilişki tespit etmişlerdir. Bağlı nemin ve bulut örtüsünün kirlilik ile en iyi uyum gösteren değişkenler olduğu tespiti yapılmıştır.

Zeydan ve Yıldırım (2012), Uzaktan Algılamada MODIS AOD verileri kullanılarak atmosferik partikül madde konsantrasyonlarını belirlenebileceğini tespit etmişlerdir. Çalışmada AOD ile PM 10 arasında ortalama bir ilişki $R=0.72$ olarak elde edilmiştir. SİM istasyon yetersizliği konusunda tespitler yapmışlardır. MODIS uydusunun günlük alım yeteneği veri toplanmasını kolaylaştırdığı için tercih temel veri olarak kullanılmıştır.

Aslanoğlu vd. (2015), Türkiye'nin SO₂ emisyon envanterinin oluşturulmasında MetOp-A uydusu üzerindeki GOME-2 algılayıcısı verileri kullanmışlardır. SO₂ gazının kolon şeklinde olan verisi elde etmiştir. Hem zamansal hem de mekânsal gaz dağılım haritası oluşturulmuştur.

2017'de fırlatılan ESA tarafından geliştirilmiş Copernicus programı bir parçası olan UV, O₃, CO, NO₂, SO₂, CH₄, HCHO gibi emisyon değerlerini ölçmek için Sentinel 5 uydusunda bulunan TROPOMI cihazı ile yüksek çözünürlüklü veriler elde edilmeye başlanmıştır (El Khoury vd. 2009).

Tezel (2017), 2005-2016 arasında Türkiye için SO₂ verilerini elde etmek için OMI uydusu kullanılmış ve SO₂ kirleticisinin mekânsal dağılım haritası elde edilmiş ve yer istasyonları ile karşılaştırılması yapılmıştır. 2016 yılında meydana gelen Musul'daki kükürt tesisindeki çıkan yangındaki kirliliğin ülkemize taşınımı uzaktan algılama teknikleri kullanılarak tespit etmişlerdir.

Zheng vd. (2019), çalışmalarında Sentinel-5P uydu verileri kullanarak Çin'deki NO₂ mekânsal değişimi üzerine tespitler yapmışlardır. İki tip metot birlikte kullanılmıştır. Uzamsal gecikme modeli ve coğrafi ağırlıklı regresyon metotları birlikte kullanılmıştır. Kuzey Çin bölgesinin elektrik tüketimi ve araç etkisi bulgusuna ulaşmışlardır.

Hedelt vd. (2019), Sentinel-5 Precursor/TROPOMI'den SO₂ katmanı yüksekliği alma üzerine çalışmışlardır. Theys vd. (2019), volkanik SO₂ gazını TROPOMI yerleşik

Sentinel-5 ile tespiti üzerine çalışmışlardır. FP_ILM isimli ürettikleri algortima ile üretilen katmanı yüksekliği 2 km'den az şekilde elde edilmiştir. SO₂ kirleticisinin katman yüksekliği iklime en büyük etkiyi yaptığı bulgusuna ulaşılmıştır. Geri saçılım etkisi için yeni bir model geliştirmişlerdir. Katman yüksekliği tespiti doğrulaması modeli test işlemlerinde kontrol edilmiş ve iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Shikwambana vd. (2020), TROPOMI/Sentinel-5 P verilerini kullanarak Güney Afrika'da SO₄ ve NO₂ trend analizini yapmışlardır. 39 yıllık zaman serisi kullanılmıştır. Mann-Kendall testi uygulanmıştır. Elektrik maliyetleri artışı ile ucuz kömüre yönelmek neden olarak ortaya konmuştur.

Kaplan ve Avdan (2020), COVID-19 süresince Türkiye'deki NO₂ üzerine belirleme yapmışlardır. Nüfusun yoğun olduğu illerde kirliliğin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Karantine etkisinin kirlilik azaltıcı etkisi tespiti yapılmıştır.

Omrani vd. (2020), Sentinel uydusundan elde edilen hava kirletici NO₂ hakkında uzay-zamansal veriler kullanmışlardır. Fransa'da uygulanmıştır. Metan 7*7 km² ile en yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip değişken olmuştur. UV indeks, HCHO, UV değişkenleri de değişken olarak kullanılmıştır.

Prunet vd. (2020), Şehir ölçeğinde kirliliği izlemek için TROPOMI'den NO₂ Troposferik ürününün analizi yapmışlardır. Karantinanın NO kirletici azaltma etkisi ve tahmin işlemi yapılmıştır. Ölçümün kolon tipinde olması ve meteorolojik etkenlerden etkilenmeye açık olması vurgulanmıştır. 315.000 km²'lik alan çalışma alanı olarak seçilmiştir. Uydu verilerinin hava kalitesi çalışmalarında kullanımı önerilmiştir.

Zhao vd. (2021), yaptıkları çalışmada Çin'de COVID-19 salgını sırasında Troposferik O₃ değişimi TROPOMI'den faydalanarak O₃ tespitini araştırmışlardır. Meksika'da ve Irak ayrı araştırmacı ekipleri tarafından aynı metot ve veri tipi olacak şekilde uygulanmış aynı korelasyon tespit edilmiştir (Peralta vd. 2021; Hashim vd 2021).

Elshorbany vd. (2021), NO₂, CO, O₃, ve AOD verilerini uzaktan algılama teknolojileri kullanılarak elde edilmesi sonucu Amerika'da COVID-19 Pandemi sırasında hava kalitesi değerlendirilmesi yapılmıştır.

Verhoelst vd. (2021), Sentinel-5P TROPOMI NO₂ ölçümlerinin yer tabanlı doğrulamasını yapmışlardır. S5P'den elde edilen NO₂ verisi ile yer sistemleri olan Max-DOAS güneş ışığı ölçer sistem verisi korelasyonu irdelenmiştir. Ayrıca araç sistemi olan Max-DOAS verisi ile olan korelasyon irdelenmiştir. Sabit olan sistem kıyaslanmasında yüksek korelasyon tespiti yapılmıştır. Araç tip Max-DOS sistemi mobil olması ve daha farklı alandan çeşitli veri toplaması nedeniyle sabit sistem ile olan ilişkiden daha yüksek ilişki tespiti yapılmıştır.

Sünsüli ve Kalkan (2022), S5P uydusunun görüntüleri ile Marmara Bölgesindeki NO₂ izlenmesinde elde ettikleri verileri yıl bazında karşılaştırmışlardır. Fosil yakıt tüketimi ile hava kirliliği arasında $r = 0.85$ gibi yüksek bir oran elde edilmiştir. Covid 19 dönemi kapanma ve bitiş değerlerindeki belirgin iniş ve çıkış tespit edilmiştir.

Hava kirliliği ile uzaktan algılama çalışmalarında kullanılan uyduların mekânsal, zamansal çözünürlükleri gibi özellikleri aşağıdaki Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Hava Kalitesinde kullanılan uzaktan algılama teknolojileri (AbdelSatter, 2019)

Enstrüman	Platform	Tarih Aralığı	Mekansal Çözünürlük	Zamansal Çözünürlük	Uygulamalar
GOME	ERS-2	1995-2003	320*40 km	3 gün	NO ₂ , SO ₂ , AOT and O ₂
MOPITT	Terra	2000-	22*22 km	3 gün	CO ve NH ₂
MISR	Terra	2000-	0.275	9 gün	AOT
MODIS	Terra Aqua	2000-	0.25-1 km	1-2 gün	AOT
AIRS	Aqua	2002-	13.5*1 km	-	Sıcaklık ve Nem Profilleri, O ₂ , CO, CO ₂ , CH ₂
SCIAMACHY	ENVISAT	2002	30*60 km	6 gün	SO ₂ , NO ₂
OMI	Aura	2004-	13*24 km	1 gün	NO ₂ , O ₃ , HCHO, SO ₂
TES	Auro	2004-	5*8 km	2 gün	O ₃ , CO, CO ₂ ve NH ₃
GOME_2	MetOp	2006-	40*80 km	1.5 gün	CO, NH ₃ , NH ₄ , CO ₂ , SO ₂
IASI	MetOp	2006-	-	-	Sıcaklık Profili, Nem, O ₃ , CO, CH ₄ , N ₂ O
Sentinel- 5P	TROPOMI	2017-	5.5x3.5 km 7x3.5 km	101.5 dakika	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , CO, NH ₄ , formaldehit

Önceki çalışmaların irdelenmesi ve araştırılması aşamasında model üretimimizde kullandığımız çoklu regresyon çalışmaları ele alınmıştır. Hava kirliliği ile ilgili çoklu regrasyon çalışmaları ile ilgili incelemeler örnek aşağıdaki çalışmalar verilmiştir.

Hava kirlilik modellemesindeki PM₁₀ ile SO₂ miktarlarının yağmur, sıcaklık, basınç, rüzgar, çiğ gibi meteorolojik verilerin ilişkisi kurulduktan sonra radyal taban olan polinom, pearson VII, sigmoid ve gibi yöntemlerle tahmin edilebilir. Bunun devamında ise çok katmanlı sinir ağları ve çoklu doğrusal regresyon ile karşılaştırılmaları sağlanabilir bulgusu elde etmişlerdir (Ekinci 2017).

Ankara ilindeki değişik hava kalite izleme istasyonlarının elde ettiği verilerin Kantil Regresyonu analiziyle yorumlanmasında sıcaklık, rüzgar hız, rüzgar yön, bağıl nem, basınç, SO₂, O₃, PM₁₀, CO, NO₂, CO parametrelerinde anlamlı ilişkileri tespit edilmiştir. Bu da yöntem ile hava kirliliği, iklim değişikliği gibi çalışmaların modellenmesinde etkili bir araç olduğunu gösterilmiştir (Tıgılı ve Cangür 2019).

Hava kalitesi haritalarını oluşturmada uzaktan algılama ve CBS de kullanılmaktadır. Bu yöntemlerde karar mekanizmalarının kurulmasında regresyon da ek bir araç olarak rol oynayabilir. Aksaray hava kirlilik haritalarının oluşturulmasında uydu görüntülerine ait bantlara çoklu regresyon yöntemi uyarlanarak tematik haritalar çıkarılmıştır. Uydu görüntülerinin radyometrik düzeltmelerinin yapılmasının ardından arazide ölçülen PM₁₀ ile karşılaştırmasında çoklu regresyon kullanılmıştır ve elde edilen kirlilik belirlemede hassasiyet artırımı sağlanmıştır (Gündüz 2018).

Hava kirliliğinin mekânsal bağımlılığının araştırılmasında CBS ile mekânsal regresyon analizi yöntemlerinden Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon (IDW) yöntemi birlikte kullanılabilir. Tek değişkenli olan regresyon analiz uygulaması ile kirlletici parametrelerinin ve çevresel faktörleri arasındaki ilişkiler açıklanabilir çıkarımı bu çalışmada elde edilen sonuçlar ışında varılmıştır (Solak 2021).

Hava kirliliği tahmin edilmesinde makine öğrenme yöntemleri ile regresyon birlikte kullanılmaktadır. Makine öğrenmesi ile elde edilen regresyon algoritmaları: karar ağacı, rastgele orman, destek vektör, en yakın komşu, çok katmanlı algılayıcı regresyon olarak sıralanabilir. Bu metotların denenmesinde her bir veri setine göre model performansı değerlendirilmiştir (Güven 2022).

Hava kirlilik tahmininde yapay sinir ağları ile regresyon yöntemlerinin karşılaştırmasında, her iki yöntemdeki ve bunlara ait değişkenler sayısındaki ortalama mutlak hata (MAD), ortalama mutlak yüzde hata (MAPE), ortalama karesel hata (MSE), kök ortalama karesel hata (RMSE) kullanılabilir. Yapay sinir ağları yöntemi PM₁₀ için en iyi model olarak tespit edilmiştir (Akbulut ve Özcan 2020).

İklim değişikliği çalışmalarında yağış verileriyle oluşturulan çoklu lineer regresyon metodu, basit lineer regresyon metoduna göre daha doğru sonuçlar vermiştir (Sreehari ve Srivastava 2018).

Hava kirliliği yanı sıra diğer çevresel alanlarda da kirlilik etkileri ile ilgili çalışmalarda yapılmıştır. Bu konuda bilgi vermek amacıyla aşağıdaki su, toprak-bitki ve diğer alanlarda çalışmalara örnekler verilmiştir.

Kirlleticilere maruz kalması açısından önemli bir yeryüzü parçası olan su kaynakları ile ilgi çalışmalar aşağıda verilmiş ve ilgili tespitler yapılmıştır.

Yeraltı suyunun içme ve kullanıma uygunluğunun tespit edilmesinde akiferin kimyasını etkileyen jeokimyasal mekanizmaları incelemiş ve çeşitli su kalite indekslerini, CBS yöntemlerini ve regresyon analizlerini birlikte kullanılabilirliğini gösterilmiş ve yüksek ilişkili regresyon tespitleri elde etmiştir (Osta vd. 2022).

Yüzey su kaynaklarındaki su seviyesini CBS ve regresyon analizleri ile tespit edilebilirliğini ayrıca su yüzeyindeki aylık değişimi rüzgârlı gün sayısını, basınç, nem gibi parametrelerle tespit edilebilirliğini bu çalışma ile ortaya konmuştur. Harita elde edilmesi için kullanılan analiz verilerini ve gerçekte var olan verilerin karşılaştırılmasında meteorolojik bağımsız değişkenler ile su kütleindeki aylık değişimlerinin regresyon metodu ile modellenebilir sonucuna varılmıştır (Altınel 2012).

Taşkın modellemesinde uzaktan algılama ve CBS karşılaştırmasında ise taşkın envanteri, eğim, topografik ıslaklık, jeolojik arazi kullanımı gibi kriterlerle birlikte regresyon metot kullanılabilirliği bulgusuna ulaşılmıştır (Bui vd. 2019).

Çalışmada hava kirliliğinin tehdit ettiği bir diğer yeryüzü zenginliği topraklardır. Toprak ile ilgili regresyon çalışmalarına örnekler aşağıda verilmiştir.

Regresyon ile ilgili basit lineer regresyon ve çoklu lineer regresyon haricinde aşamalı regresyon yöntemi ile analizdeki bazı değişkenleri iptal ederek regresyon katsayısını arttırmayı hedeflenmiştir. Uzaktan algılama ve topraktaki tuzluluğun aralarındaki ilişkiyi tespit etmede aşamalı regresyon kullanılabilir olduğu bulgularına ulaşılmıştır (Azabdaftari 2015).

Hassas tarım uygulamalarında çok amaçlı regresyon analizleri ile tespitler yapılabilir olduğu ve bunun için ilk olarak iki sürekli değişken arasındaki farkın hesaplanması gereğinin tespitini yapılmıştır. Yorumlamada kolaylık sağlayan Ortalama Mutlak Hata (MAE) analizi tercih edilebileceği önerisi yapılmıştır. İkinci aşamada tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki uzaklık tespiti yapılarak, hatanın büyüklüğünü hesaplayan Metrik Kök Ortalama Karesel Hata (RMSE) kullanılabilirliği bulgusuna ulaşılmıştır. Ayrıca korelasyon matrisi kullanılarak regresyondaki bağımlı değişkenin ölçme gücü elde edilebilirliği bulgusuna varılmıştır (Şahin 2019).

Modern tarım uygulamalarında ise dijitalleşme hedefiyle ağ tabanlı sistemlerin kurulmasında regresyon metotunun faydalı olduğu düşüncesi ve bunun için nem, ortam sıcaklığı, nem, ışık gibi farklı katmanların değerlendirilmesi sağlanabilirliği tespiti yapılmıştır (Koşum 2022).

Bu çalışmaların yanı sıra birçok alanda çoklu regresyon çalışmaları ve araştırmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Sosyal bilimlerin mekânsal olarak kullanıldığı çalışmalara örnek olarak göç modellemesi yapılmıştır (Kalaycı 2006). Yer seçimi çalışmalarında restoran yer seçimi uygulaması yapılmıştır (Baş 2018). Bunların yanı sıra fen bilimleri alanındaki diğer çalışmalarda tematik haritaların regresyon ile oluşturulmasında konut taşınmaz değerlerinin belirlenmesi (Genç 2021) veya kaza tahmini yapılması (Çodur vd. 2013) örnekleri verilmiştir. Coğrafi ağırlıklı regresyon (GWR) uzaktan algılama ve haritalamada mekânsal olarak model sonuçlarına ait değişkenlerin yorumlaması için etkili bir araç olabilir olduğu sonucuna varılmıştır (Shrestha 2006).

Bu çalışmada ikinci model olarak tercih edilen Temel bileşen analizi (TBR) topraktaki organik maddeyi tespit etmede de kullanılabilir olduğu ve bunun için kısmi en küçük kareler regresyonu (KEKKR), temel bileşen analizi (TBR), hiyerarşik kümelemeye dayalı k-ortalamlar kümelemesi yöntemleri kullanılabilirliği tespiti yapılmıştır. K-ortalamlı kümelemeye dayalı KEKKR yaklaşımının, algoritma hızını önemli ölçüde artırdığı yerel KEKKR yaklaşımıyla benzer tahmin doğruluğunu elde edilebilir olduğu gösterilebildiği sonucuna ulaşılmıştır (Liu vd. 2023).

Yüksek spektral çözünürlükteki multispektral uydusu verisi ile yüksek geometrik çözünürlükteki uydusu verisinin birleştirilmesi sonucu elde edilen yeni görüntünün sonuç görüntülerinin doğruluk analizlerinde TBR kullanılabilir olduğu tespiti yapılmıştır. Bu sonuç ile uzaktan algılama yöntemlerinin yanı sıra TBR yardımıyla bir bölgedeki termal su kaynakları tespit edilebilirliği ortaya konmuştur (Okur 2017). Uydu görüntüleri ile havza gelişimi ve jeotermal kaynakların analiz edilmesinde de benzer şekilde uzaktan algılama yöntemleriyle birlikte TBR kullanımı yapılmıştır (Kandil 2017).

TBR ile yerleşim alan indeksi işgal alan tespiti ve işgal bölge ve çıkarımları yapılmıştır (Mustafayev 2022).

Çalışmada son ve tercih modelimiz olan KEKKR metodu ele alınmış ve çalışmalar irdelenmiştir. Bu alanda günümüzde önemi gittikçe artan afet çalışmalarında kullanımı ortaya konmuştur. Uzaktan Algılama, CBS ile elde edilen mekânsal verinin kullanımı ve yorumlanması hususlarında birçok farklı istatistik yöntemden ve araçtan faydalanılabileceği ileri sürülmüştür. Veri sınıfları hava kirliliği, yüzey ve yeraltı su kaynakları, toprak kirliliği, maden sahalarının terk edilmesi ile oluşan olumsuzluklar, ekolojik ve çevresel olumsuzluklar, doğal afetlerden elde edilmekte olduğu ve bahsedilen tüm bu verilerin yorumlanmasında KEKKR güncel literatürde yer alan çalışmalarda rol aldığı tespiti yapılmıştır.

Ülkelerin öncelikli hedef haline getirdiği CO₂ emisyonlarını kontrol altına almak üzerine tasarladıkları projeleri, önümüzdeki 35 yıllık süreçte karbon nötrlüğüne kadar ulaşma hedefini içermekte olduğu, ekonomik büyüme, endüstriyel yapı, enerji tüketimi, kentsel gelişim, dış ticaret gibi çok geniş bir alanda çalışmalar yapıldığı ifade edilmiştir. Kavramsal modelin gerçekçiliğini doğrulamak, ölçüm modelinin güvenilirliğini ve geçerliliğini test etmek, yol katsayılarını hesaplamak ve test etmek gibi durumlarda en küçük kareler eşitlik modellemesi (PLS-SEM) kullanılması uygun olduğu sonucu bulunmuştur (Wang vd. 2021).

Sadece havadaki değil topraktaki karbonların tespit edilmesi de çevresel açıdan önem arz etmekte ve bu açıdan Toprak Organik Karbonu (SOC) verisini, Uzaktan algılama ile elde edilen hiperspektral veriler ve araziden alınan örneklerden elde edilen veriler ile karşılaştırılmasında KEKKR kullanılarak test yapılabilirliği sonucuna varılmıştır (Ward vd. 2020).

Yüzey su kaynaklarındaki su kalitesi tespit edilmesinde içme suyu kalite indeksi (DWQI), metal indeksi (MI), kirlilik indeksi (PI), bulanıklık ve toplam askıda katı madde (TSS) gibi parametrelerin değerlendirilmesinde KEKKR kullanılabileceği tespiti yapılmıştır (Gad vd. 2022). Rezervuara girdilerin belirlenmesinde KEKKR noktasal olmayan indeksler ve farklı arazi kullanım türleri arasında ampirik bir regresyon denklemi geliştirilmesi değerlendirmek için kullanışlı olduğu tespiti yapılmıştır (Yang vd. 2014). Su kaynaklarındaki ekolojik analizlerde KEKKR sağlam ilişkilendirme modelleri oluşturarak karşılaşılan küçük örneklem boyutları sorunu, örneklenen alanlar arasında eksik veri değerleri, çok sayıda tahmin değişkeni, yüksek görüntü sinyali gibi durumlarda sağlam ilişkilendirmeler yaparak sorunları açıklamaya çalışır olacağı bulgusu elde edilmiştir (Nash ve Lopez 2010). Yüzey kaynaklarının yanı sıra yeraltı su kaynaklarının da CBS ile değerlendirilmesi ile net sonuçlar alınmakta olduğu ifade edilmiştir (Masoud vd. 2022). Kısmi En Küçük Kareler Yapısal Eşitlik Model (KEKK-YEM) gözlenen değişkenleri, gözlenemeyen değişkenlerle karşılaştırmaya ve aralarındaki ilişkileri ortaya koymaya çalışır, böylece yeraltı suyu kalitesinin belirlenmesinde geleneksel istatistik yöntemlere oranla daha başarılı sonuçlar ortaya koyduğu tespiti yapılmıştır (Doğan vd. 2020). Yeraltı sularının izlenmesinde yapay sinir ağları, KEKKR, bulanık çıkarım sistemleri ile tespit yapmak mümkün olabileceği çıkarımı yapılmıştır (Habibi vd. 2021).

Maden sahasında Worldview_2 stereo görüntüsü ile ASTER görüntüsü, her iki görüntünün yansıma spektrumlarıyla alınan numunelere yapılan analiz sonuçlarının karşılaştırılmasında KEKKR kullanılması toprak türlerine göre ilişkiyi göstermekte etkin bir analiz yöntemi olduğunun yanısıra KEKKR ve ÇDR analiz sonuçları karşılaştırması literatürdeki sonuçlara yakın değerler sunduğunu test etmede kullanıldığı tespiti yapılmıştır. Bu şekilde çevresel zarar tespiti yapılmıştır (Soydan 2013).

Ekolojik verilerin incelenmesinde ve yorumlanmasında TBR ile ilgili çok çalışma olmasına rağmen KEKKR ile değişkenlerin yanıtlarla ilişkilerinin kurulmasında TBR'den daha iyi sonuçlar alındığı tespit edilmiştir (Scott ve Crone 2019). Ağırlıklı Ortalama Kısmi En Küçük Kareler (WA-PLS) Regresyonu yönteminde kullanılan eğitim veri setinin, örneklenen iklim alanlarını ve iklim değişikliği etkilerini belirlemede kullanılması önem arz ettiği vurgulanmıştır (Turner vd. 2020).

Sel, yangın gibi afet risklerinin azaltılması ve tedbir alınmasında KEKKR diğer mekânsal analizlerin yanında ek bir yöntem olarak kullanıldığı ifade edilmiştir. Sel afetlerinde taşkın risk alanlarını belirlerken (Kalantari 2013) veya orman yangınlarının kentleşmeyle ilişkisini araştırırken KEKKR'den yararlanılabileceği sonucuna varılmıştır (Madrigal vd. 2013).

Toprakta KEKKR kullanımı ile ilgili literatürde çok sayıda çalışma yer aldığı ve çalışma konularının başında tuzluluk, erozyon, ph, kil, organik madde, demiroksit içeriği, araziye ve tarıma uygunluk yer almakta olduğu vurgusu yapılmıştır. Çalışmaların genel bir kısmında uzaktan algılama kullanılmakta, KEKKR ile sınıflandırılma işlemleri yapıldığı tespiti yapılmıştır (Habibi vd. 2021).

Toprak tuzluluğunu belirlemede MARS modeli KEKKR'den daha uygun sonuçlar verdiği (Nawar vd. 2014) ve Uzaktan Algılama verileri ile arazi özelliklerinin makine öğrenmesi ile tahminde karar ağacı ve rastgele orman algoritmalarının toprak tuzluluğu seviyelerini daha doğru tahmin ettiği belirlenmiştir (Wang vd. 2020). N-PLS (Multiway Parçalı En Küçük Kareler Yöntemi) yaklaşımının hassas tarımda kaynak atama ve tarla yönetimi kararlarını desteklemek için kullanılabileceği geleneksel doğrusal regresyon model karşılaştırmaları neticesinde belirlenmiştir (Fornieles vd. 2022).

KEKKR modelinin diğer çalışmalarda da kullanımı bulunmaktadır. Çalışmalar aşağıda açıklamaları ve referansları ile birlikte verilmiştir.

Bitki ile ilgili çalışmalarda KEKKR modelinin kullanılması diğer yöntemlerin tahmin değerlerini önemli ölçüde artırdığı tespiti yapılmıştır (Wu vd. 2023). Bu çalışmalarda yapay sinir ağları modeli ise KEKKR'den daha iyi sonuçlar ortaya koyduğu bulgusu elde edilmiştir (Sharabiani vd. 2019).

İHA tabanlı hiperspektral ölçümlerden elde edilen mahsul sonuçları KEKKR, YSA, ve RO regresyon teknikleri ile karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır bu çalışma önemli referanslar sağladığı vurgusu yapılmıştır (Tao vd. 2020).

Coğrafi veriye dayalı hücresel veri sınıflamasının (CA), KEKKR ile kombinasyonu ile PLS-CA olarak tanımlanmıştır ve kentsel büyümede gelecek

senaryolar tasarlamada kolayca uygulanabilir tespiti yapılmıştır (Feng vd. 2016).

Bunların yanı sıra diğer çalışmalarda; hayvancılık alanında WorldViev-2 multispektral görüntüler ile KEKKR kullanımı meralarda yem kalitesini vereceği tespiti yapılmıştır (Zengeya vd. 2012). KEKKR modeli gıda alanında diğer kimyasal yöntemlere oranla daha yüksek doğrulukta sonuçlar vermiştir (Özyurt 2018). KEKKR'nin simülasyon sonucu, MCE-CA'nınkiyle karşılaştırılmış ve PLS-CA'nın simülasyon kesinliğinin MCE-CA'nınkinden daha yüksek olduğunu ve kentsel gelişiminin daha gerçek mekansal modeline sahip olduğu tespiti yapılmıştır (Feng vd. 2009). Fiyat tahmin fonlamalarında KEKKR, RR (Ridge Regresyonu) ve DVR (Destek Vektör Regresyonu) algoritmalarından elde edilen sonuçlar, Yapay Sinir Ağlarına oranla çok düşük kaldığı tespit edilmiştir (Çalışkan, 2020).



MATERYAL VE METOT

3.1.Kullanılan Veri Setleri

Çalışmada 5 beş adet veri kaynağı kullanılmıştır. Sürekli İzleme Merkezi (SİM) istasyonu, Sentinel5P uydu görüntüsü-Tropomi Enstrümanı, TerraClimate ve Colorado Maden Araştırma Üniversitesi veri setleridir. Veri setlerinden Ç.Ş.B'lığı, SİM istasyon verisi sayısal veri tipindedir. Diğer 4 dört veri kaynağı ise uydu görüntüsü tipindedir. Çalışmada kullanılan verilerin tipleri, çözünürlükleri gibi özellikleri aşağıdaki Çizelge 3.1'deki çizelgede ayrıntılı şekilde verilmiştir.

Çizelge 3.1. Veri Kaynağı Bilgi Çizelgesi

Sürekli İzleme Merkezi	
Kaynak	https://sim.csb.gov.tr/services/airquality
Katman Açıklaması	Azotdioksit NO ₂ NO ₂ Yer İstasyon
Katman adı	İstasyon verisi
Katman Birimi	µg/m ³
Google Earth Engine	
GEE Kod Adı	ee.ImageCollection("COPERNICUS/S5P/NRTI/L3_NO2")
GEE Katman Adı	NO ₂ _column_number_density NO ₂ uydu görüntüsü
GEE Katman Açıklaması	Total vertical column of NO ₂
Katman Çözünürlüğü	1113.2 metre
Katman Birimi	mol/m ²
GEE Kod Adı	ee.ImageCollection("IDAHO_EPSCOR/TERRACLIMATE")
GEE Katman Adı	TMmn En Düşük Sıcaklık
GEE Katman Açıklaması	Minimum temperature
Katman Çözünürlüğü	4638.3 metre
Katman Birimi	deg;C
GEE Kod Adı	ee.ImageCollection("IDAHO_EPSCOR/TERRACLIMATE")
GEE Katman Adı	TMmx En Yüksek Sıcaklık
GEE Katman Açıklaması	Maksimum temperature
Katman Çözünürlüğü	4638.3 metre
Katman Birimi	°C
GEE Kod Adı	ee.ImageCollection("IDAHO_EPSCOR/TERRACLIMATE")
GEE Katman Adı	Vap Buhar Basıncı
GEE Katman Açıklaması	Vapor pressure
Katman Çözünürlüğü	4638.3 metre
Katman Birimi	kPa
GEE Kod Adı	ee.ImageCollection("IDAHO_EPSCOR/TERRACLIMATE")
GEE Katman Adı	Vpd Buhar Basıncı Açığı
GEE Katman Açıklaması	Vapor pressure deficit
Katman Çözünürlüğü	4638.3 metre
Katman Birimi	kPa
GEE Kod Adı	ee.ImageCollection("IDAHO_EPSCOR/TERRACLIMATE")
GEE Katman Adı	Vs Rüzgar Hızı
GEE Katman Açıklaması	Wind-speed at 10m
Katman Çözünürlüğü	4638.3 metre
Katman Birimi	m/s
GEE Kod Adı	ee.ImageCollection("NOAA/VIIRS/DNB/MONTHLY_V1/VCMSLCFG")
GEE Katman Adı	avg_rad Ortalama Işık Parlaklık Değeri
GEE Katman Açıklaması	Average DNB radiance values
Katman Çözünürlüğü	463.83 metre
Katman Birimi	nanoWatts/cm ² /sr

GEE Kod Adı	ee.ImageCollection("COPERNICUS/S5P/NRTI/L3_CLOUD")
GEE Katman Adı	cloud top height <i>Alınan bulut optik derinliği</i>
GEE Katman Açıklaması	Retrieved altitude of the cloud top
Katman Çözünürlüğü	1113.2 metre
Katman Birimi	m

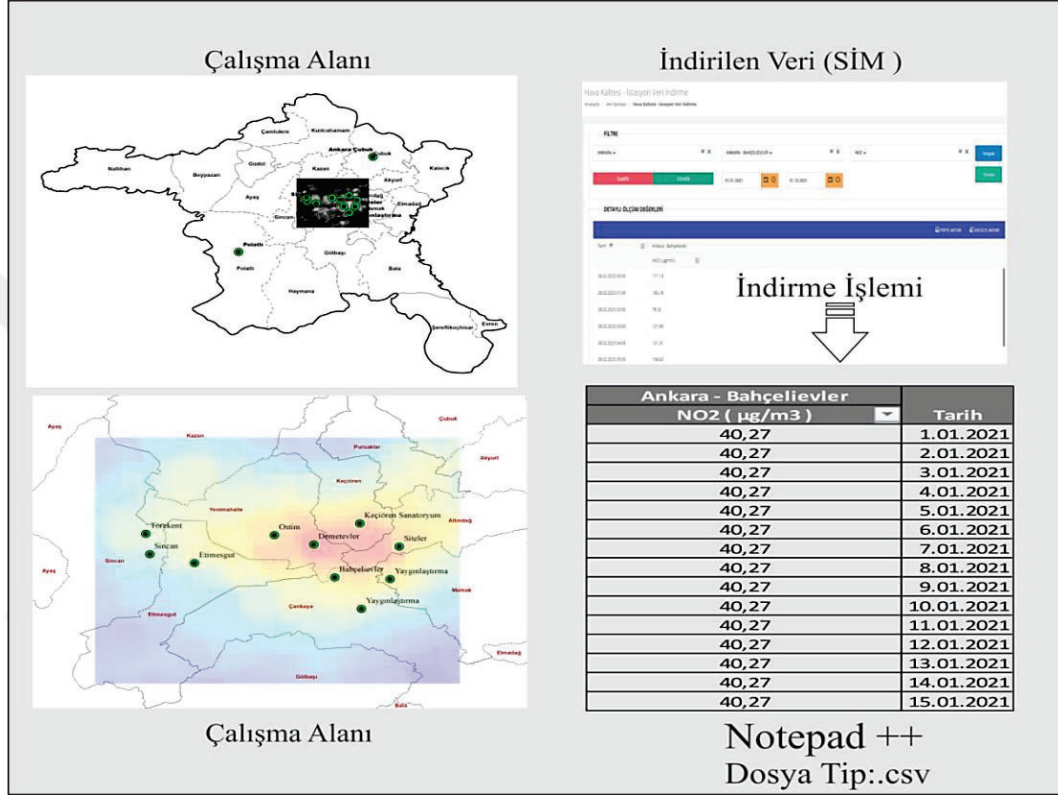
3.1.1. Sürekli izleme merkez (SİM) verileri:

Bakanlığın Ulusal Hava Kalite İzleme Ağı sitesi veri kaynağıdır. Veriler Hava kalitesi istasyonlarının aldıkları değerleri merkeze aktarması ile depolanır. Çalışmada Ankara merkezindeki 15 istasyondan (Bahçelievler, Demetevler, Etimesgut, Keçiören-Sanatoryum, Ostim, Sincan, Siteler, Törekent, Yaygınlaştırma-Mamak, Yaygınlaştırma-Çankaya, Polatlı, Çubuk, Ulus-Trafik, Sıhhiye ve Yaşamkent) aylık NO₂ yersel ölçüm verisi kullanılmıştır. İstasyon bazında aylık toplam veriler çalışmada kullanılmıştır. Ankara ili diğer SİM istasyonlarının seçilmemesinin sebebi istasyon sıklık aralığı düzgün olmaması durumu meydana geleceği nedeniyle tercih edilmemiştir. Sıklık uygunluğu gereği yukarıdaki istasyonlar tercih edilmiştir. Çalışmada kullanılan SİM merkezleri ile ayrıntılı bilgi çalışma alanı kısmında açıklanmıştır. 2021 yılı aşağıdaki Çizelge 3.2’de görüldüğü üzere aylık NO₂ yersel ölçüm veri sıklığı kalitesi en iyi yıl olmasından dolayı tercih edilmiştir.

Çizelge 3.2. Ankara ili için aylık NO₂ yersel ölçüm veri sıklığı kalitesi

2018	2019	2020	2021
Bahçelievler	Bahçelievler	Bahçelievler	Bahçelievler
<i>Veri Bulunmamaktadır</i>	<i>Veri Bulunmamaktadır</i>	<i>Veri Bulunmamaktadır</i>	Batıkent
Çankaya	Çankaya	Çankaya	Çankaya
Demetevler	Demetevler	Demetevler	Demetevler
<i>Veri Bulunmamaktadır</i>	<i>Veri Bulunmamaktadır</i>	Etimesgut	Etimesgut
<i>Veri Bulunmamaktadır</i>	<i>Veri Bulunmamaktadır</i>	Etlik	Etlik
Kayaş	Kayaş	Kayaş	Kayaş
Keçiören Sanatoryum	Keçiören Sanatoryum	Keçiören Sanatoryum	Keçiören Sanatoryum
<i>Veri Bulunmamaktadır</i>	<i>Veri Bulunmamaktadır</i>	<i>Veri Bulunmamaktadır</i>	Mamak
<i>Veri Bulunmamaktadır</i>	<i>Veri Bulunmamaktadır</i>	Ostim	Ostim
<i>Veri Bulunmamaktadır</i>	<i>Veri Bulunmamaktadır</i>	Polatlı	Polatlı
Sıhhiye	Sıhhiye	Sıhhiye	Sıhhiye
Sincan	Sincan	Sincan	Sincan
Siteler	Siteler	Siteler	Siteler
<i>Veri Bulunmamaktadır</i>	<i>Veri Bulunmamaktadır</i>	Törekent	Törekent
<i>Veri Bulunmamaktadır</i>	<i>Veri Bulunmamaktadır</i>	<i>Veri Bulunmamaktadır</i>	Ulus
<i>Veri Bulunmamaktadır</i>	<i>Veri Bulunmamaktadır</i>	<i>Veri Bulunmamaktadır</i>	Ulus Trafik
<i>Veri Bulunmamaktadır</i>	<i>Veri Bulunmamaktadır</i>	Ümitköy	Ümitköy
<i>Veri Bulunmamaktadır</i>	<i>Veri Bulunmamaktadır</i>	<i>Veri Bulunmamaktadır</i>	Yaşamkent
<i>Veri Bulunmamaktadır</i>	<i>Veri Bulunmamaktadır</i>	Çankaya Yaygınlaştırma	Çankaya Yaygınlaştırma
EMEP Çubuk	EMEP Çubuk	EMEP Çubuk	EMEP Çubuk
<i>Veri Bulunmamaktadır</i>	<i>Veri Bulunmamaktadır</i>	Mamak Yaygınlaştırma	Mamak Yaygınlaştırma

Çalışmada kullanılan istasyonlar Ankara ili şehir merkezinde olan istasyonlardır. Bu istasyonların NO₂ kirleticisinin 2021 yılına ait bilgileri csv formatında elde edilmiştir. İstasyon bilgileri ve csv dosyalarımıza bir örnek oluşturması için aşağıdaki Şekil 3.1’de bu bilgiler görselleştirilmiştir. Yazılım uygulamasında bu bölümde üretilen csv dosyaları kaynak veri olarak kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Görselleştirilmiş istasyon bilgileri

3.1.2 COPERNICUS/S5P/NRTI NO₂ Uydu görüntüsü

Avrupa Uzay Ajansının hava kirlenmesinin takibi için 2017 yılı göreve başlayan uydudur. Tropomi (TROPOspheric Monitoring Instrument) aygıtı ile NO₂, CH₄, Formaldehit (CH₂O), Kükürt dioksit (SO₂), O₃, Aerosol indeks ve CO hava kirleticilerini ölçmektedir. Çalışmada “NO₂ column number density” adı ile belirlenmiş olan GEE Toplam Dikey NO₂ verisidir. Aylık veri günlük verilerin ortalaması alınmasından elde edilmiştir. Çözünürlüğü 1113,2 metredir. Orijinal veriler zamansal alım metodu ile elde edilmektedir. Veriler bu özellikleri L2 (geometrik düzeltme yapılmış) seviyesindeki ürünlerdir. Bu ürünler GEE veri platformuna “harconvert” aracında “bin spatial” uygulanması ile L3 (Ortorektifikasyon uygulanmış) ürününe dönüştürülür ve paylaşımına sunulur. Bu veri tipi enlem ve boylam veri tipidir Veri ayrıca kalitesi düşük verilerin filtrelenmesi işlemine de tabi tutulmuştur (Abatzoglou vd., 2018).

Çizelge 3.3’de veri setinde kullanılan katmanların ad, birim ve açıklamaları gösterilmiştir (Abatzoglou vd., 2018).

Çizelge 3.3. Veri setinde kullanılan katmanların ad, birim ve açıklamaları

Ad	Birim	Açıklama
NO ₂ column number density	mol/m ²	NO ₂ uydu

3.1.3 TERRA CLIMATE (En düşük sıcaklık, En yüksek sıcaklık, Buhar basıncı, Buhar basıncı açığı, Rüzgar hızı verileri)

TerraClimate, 1958 yılından itibaren dünyayı küresel olarak ilk dönem veri kaynaklarından veri toplayarak sonrasında uydu görüntüleri eklenmesi ile gözlemleyen yüksek çözünürlük bir iklim modelleme imkanı sunan bir veri kümesidir. Bu veriler ile küresel ölçekte hidrolojik ve ekolojik çalışmalar yapılabilir. TerraClimate verileri, yaklaşık 4 km mekânsal çözünürlüğe ve aylık zamansal çözünürlüğe sahiptir.

TerraClimate veri setinde, en yüksek sıcaklık, en düşük sıcaklık, buhar basıncı, yağış birikimi, aşağı doğru yüzey kısa dalga radyasyonu, rüzgar hızı başlıca birincil iklim değişkenleridir. TerraClimate; WorldClim hava ve iklim veri tabanı, CRU (İklim Araştırma Birimi) ve JRA55 (Japon 55 yıllık Yeniden Analiz)’den alınan verileri birleştirerek iklim destekli enterpolasyon yöntemi kullanır. Yağış, sıcaklık, buhar basıncı verileri CRU’dan alınır. JRA55 verileri CRU verisinin alınmadığı bölgeler için kullanılmaktadır (Antarktika, Afrika ve Güney Amerika’nın bazı kısımları).

TerraClimate veri setinde JRA 55, sadece rüzgar hızları ve güneş radyasyonu için kullanılmıştır. Sonuç olarak TerraClimate veri seti iklim çalışmalarına büyük katkı sağlamaktadır. Açık kaynaklı Google Earth Engine platformu ile veri setine erişim ücretsiz ve hızlıdır (Abatzoglou vd. 2018).

Aşağıdaki Çizelge 3.4’de veri setinde kullanılan katmanların ad, birim ve açıklamaları gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Veri setinde kullanılan katmanların ad, birim ve açıklamaları

Ad	Birim	Açıklama
TMmn	°C	En düşük sıcaklık
TMmx	°C	En yüksek sıcaklık
vap	kPa	Buhar basıncı
vpd	kPa	Buhar basıncı açığı
vs	m/s	10m’de rüzgar hızı

3.1.4 NOAA / VIIRS / DNB / MONTHLY_V1 / VCMSLCFG Ortalama ışıık parlaklık değeri verisi

Çalışmada kullanılan “Ortalama Işıık Parlaklık Verisi” Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) Gündüz/Gece Bandından (DNB) alınan gece verilerini kullanan aylık ortalama parlaklık kompozit görüntüleridir.

VIIRS algılayıcısı kızılötesi ile görünür görüntüler elde etmektedir. NOAA-20 ile Suomi NPP uydularında görev yapmaktadır. Sis, kar, hava parametreleri, ateş, toz, bitkiler gibi Görüntüler elde edebilmektedir. Zamansal olarak günlük veri toplamaktadır. Çalışmada aylık değeri günlük ölçümlerin ortalaması alınarak edilmiştir. Veri seti GEE platformundan edinilmiştir. Veri ışık, yıldırım, ateş, parlamalar gibi arka plan parlaklık kirliliklerini göz ardı edebilecek filtre özelliğine sahiptir. 463.83 metre görüntü çözünürlüğündedir (Wang vd., 2016).

Aşağıdaki Çizelge 3.5’de veri setinde kullanılan katmanların ad, birim ve açıklamaları gösterilmiştir.

Çizelge 3.5. Veri setinde kullanılan katmanların ad, birim ve açıklamaları

Ad	Birim	Açıklama
avg_rad	nanoWatts/cm2/sr	Ortalama DNB parlaklık değerleri.

3.1.5 COPERNICUS/S5P/NRTI Alınan bulut optik derinliği

Bu veri kümesi, bulut parametrelerinin gerçek zamanlıya yakın yüksek çözünürlüklü görüntüleri sağlamaktadır. TROPOMI/S5P bulut özelliklerinin alınması, şu anda operasyonel GOME ve GOME-2 ürünlerinde kullanılan OCRA ve ROCINN algoritmalarına dayanmaktadır. OCRA, UV/VIS spektral bölgelerindeki ölçümleri kullanarak bulut fraksiyonu almaktadır ve ROCINN, 760 nm’de oksijen A-bandında ve çevresindeki ölçümleri kullanarak bulut yüksekliğini (basınç) ve optik kalınlığını (albedo) almaktadır. Bulutların optik olarak tek biçimli ışık saçan parçacık katmanları olarak daha gerçekçi bir şekilde ele alınmasına dayanan algoritmaların 3.0 sürümü kullanılır. Ek olarak, bulutun Lambertian yansıtan bir sınır olduğunu varsayan bir bulut modeli için bulut parametreleri de sağlamaktadır. 1113.2 metre çözünürlüktedir (Wang vd. 2016).

Aşağıdaki Çizelge 3.6’da veri setinde kullanılan katmanların ad, birim ve açıklamaları gösterilmiştir.

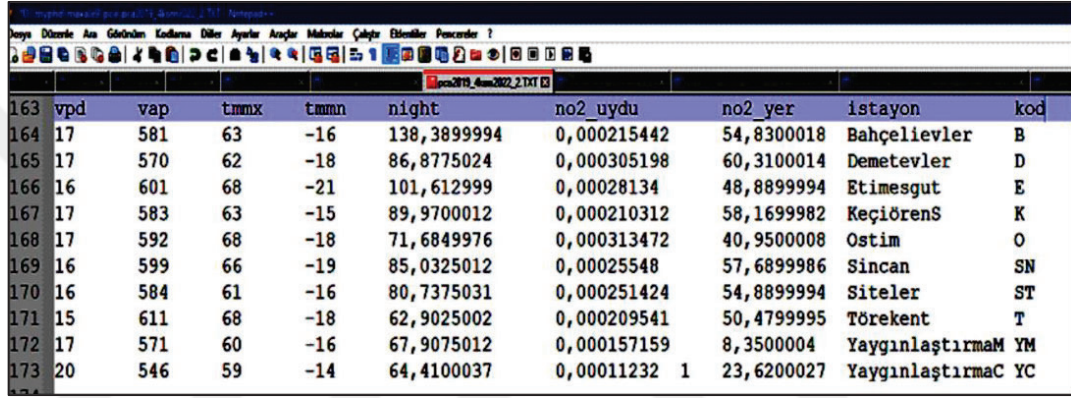
Çizelge 3.6. Veri setinde kullanılan katmanların ad, birim ve açıklamaları

Ad	Birim	Açıklama
cloud_optical_depth	m	Alınan bulut optik derinliği

Çalışmada kullanılacak veriler yukarıda ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Veri katmanları oluşturulmasından sonra ikinci aşama istatiki uygulamalar aşamasına geçilmiştir. Makine öğrenme metotlarının bu alanda kullanılması hedeflenmiş ve ÇDR,

TBR ve KEKKR metotlarının uygulanmasına karar verilmiştir. Metotların ayrıntılı olarak açıklamaları iledeki bölümde yapılmıştır.

İlk işlem olarak veri seti kaynaklarımızdan GEE verileri elde edilmiştir. Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Veriler GEE platformunda analiz için Java dili kullanılarak elde edilmiştir. Veri elde etme kodları tezin ekler bölümünde paylaşılmıştır. İstasyon koordinatları değerleri kullanılarak ilgili katmanların piksel değerleri(DN) “Extracting Raster Values for Points” işlemi ile elde edilmiştir. Elde edilen değerleri bir csv dosyası şekline dönüştürülmüştür. Yazılım kısmında üretilen csv dosyaları kaynak veri olarak kullanılmıştır.



	vpd	vap	tmmx	tmmn	night	no2_uydu	no2_yer	istasyon	kod
163	17	581	63	-16	138,3899994	0,000215442	54,8300018	Bahçelievler	B
164	17	570	62	-18	86,8775024	0,000305198	60,3100014	Demetevler	D
165	16	601	68	-21	101,612999	0,00028134	48,8899994	Etimesgut	E
166	17	583	63	-15	89,9700012	0,000210312	58,1699982	KeçiörenS	K
167	17	592	68	-18	71,6849976	0,000313472	40,9500008	Ostim	O
168	16	599	66	-19	85,0325012	0,00025548	57,6899986	Sincan	SN
169	16	584	61	-16	80,7375031	0,000251424	54,8899994	Siteler	ST
170	15	611	68	-18	62,9025002	0,000209541	50,4799995	Törekent	T
171	17	571	60	-16	67,9075012	0,000157159	8,3500004	Yaygınlaştırmam	YM
172	20	546	59	-14	64,4100037	0,00011232	23,6200027	Yaygınlaştırmac	YC

Şekil 3.2. GEE verileri notepad++

Çalışmada açık kaynak kodlu R yazılım dili kullanılmıştır. Çalışmada her bir regresyon analize özel olacak şekilde üç adet ayrı yazılım yapılmıştır. Yazılımlar aşağıda maddeler halinde yazılmıştır.

- 1- NO₂ Predict_ÇDR_Software
- 2- NO₂ Predict_TBR_Software
- 3- NO₂ Predict_KEKKR_Software

Çalışmada regresyon yöntem tercihi aşamasında ilk metot ÇDR olarak belirlenmiştir. ÇDR(Multi Lineer Regression), TBR, KEKKR yöntemleri olarak sırasıyla uygulanmıştır. Veri karakteristiği ile KEKKR yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntemden önce diğer regresyon yöntemleri ele alınmış ve açıklanmıştır. KEKKR metotuna geçiş yapılmasının nedenleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

Veri setimizde bağımsız değişkenimizin;

- Çok olması,
- Değişkenlerimizin arasında çoklu doğrusal bağlantı problemi varlığı güçlü olduğu durumlar olması,
- Değişken sayısının gözlem sayısından çok olması

- TBR ve KEKKR metodu uygulamasında Çoklu bağlantı sorunu (Multivaluerity) problemini engellenmesi nedeniyle tercih edilmiştir.

KEKKR modeli nihai model seçilmeden önce Çoklu Doğrusal Regresyon, TBR metodu uygulanmış ve sonuçlar alınmıştır. Sonrasında KEKKR metoduna geçiş yapılmıştır. Sonuç olarak KEKKR metodu seçilme gerekçesi elde edildikten sonra istasyon bazında KEKKR metot uygulaması alınmıştır. Aşağıda bu işlem sırasında uygulamalar yapılmış ve sonuçlar elde edilmiştir.

Çalışmada ÇDR, TBR ve KEKKR olmak üzere üç adet çok değişkenli veri analizi metodu kullanılmıştır. Kullanılan metotlar çok değişkenli analiz tekniklerinden doğrusal regresyon metotlarıdır. Makine öğrenme açısından ele alındığında TBR kontrollü sınıflandırmanın alt yöntemi olan regresyon algoritmasıdır (Fuentes-Cortés vd. 2022). Diğer iki kullanılan metotlardan PCR ve KEKKR ise boyut azaltma yöntemlerindendir. Üç metotun ortak özelliği çok değişkenli olmasıdır. Aşağıdaki Şeki.3.3’de çok değişkenli analiz teknikleri şeması ile kullanılan modeller ve bulundukları yerler ayrıntılı olarak gösterilmiştir (Elmasry vd. 2012).



Şekil 3.3. Çok değişkenli veri analizleri teknikleri-1(Elmasry vd. 2012)

Analiz çalışmalarında metot seçimlerinde bir çok kriter ele alınmıştır. Bu aşamada aşağıdaki Şekil 3.4’de görülen tablodaki soruların yanıtlanması ile model seçimi belirlenmiştir. Kriter “tamamlayıcı mı?” yoksa “açıklayıcı mı?” ayrımı ile ilk aşama gerçekleştirilmiştir. Doğrusal Regresyon ve TBA yöntem seçimimiz sayısal veya ölçeklendirilmiş yanıt değişkenlerimiz olması nedeniyle olmuştur (Anonim 16).



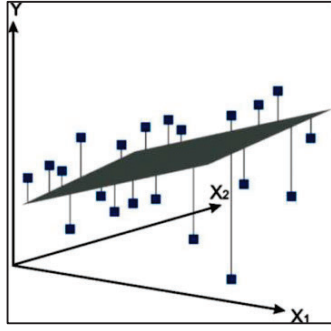
Şekil 3.4. Çok değişkenli veri analizleri teknikleri-2 (Anonim 15)

Çalışmada ÇDR, TBR ve KEKKR olmak üzere üç adet çok değişkenli veri analizi metodu kullanılmıştır. Kullanılan metotlar çok değişkenli analiz tekniklerinden doğrusal regresyon metotlarındandır. Metotların performansları R-Kare, Düzeltilmiş R-Kare, Ortalama kare hatası (MSE), Mutlak hata (MAE) değerleri ile performans değerlendirilmesi yapılmıştır. TBA değişken azaltılması işlemini gerçekleştiren denetimsiz sınıflandırma yöntemidir. İlgili olan değişkenlerin çıkarılması, ilişkisiz değişkenler elde edilmesi ve değişken sayısı azaltılması ana işlemlerindendir.(Jolliffe 1986). TBR işlemleri açısından ilk olarak bileşenlerin elde edilmesi, seçilmesi ve çoklu doğrusal regresyon işlemidir (Jolliffe 1986, Xie 1997).

ÇDR yalnızca doğrusal olan ilişkileri modellemektedir. TBR metodu dönüşüm işlemini gerçekleştirirken sadece girdi değişkenlerini dikkate almaktadır. Denetimsiz bir metottur. Karmaşıklık az olması durumlarda hesaplama yapmaktadır. Metot eşdoğrusal veri tahmini yapmaktadır. ÇDR ve KEKKR uygulamada normalizasyon ve ölçeklendirme zorunluğu bulunmamaktadır. İki metot uygulaması kolay uygulanabilir model uygulamalardır ancak bazı durumlarda kararsız neticeler elde edilebilmektedir. Çoklu bağlantı sorunu ile ilgilenmemektedir. Doğrusallık olmaması kontrolü pratik yapılamamaktadırlar. TBR ve KEKKR metotları verileri ortogonal dönüştürmektedir. Eş doğrusallık olmasına önem göstermektedir. Verileri dönüştürme işlemi ile mevcut olan doğrusallık durumunu ortadan kaldırılmasını sağlamaktadırlar. Oluşturulan modelin doğrusal olmayanları belirlemesini kolaylıkla yapabilmektedir. Elde edilen sonuçlar bileşen sayısı ile ilişkilidir (Xueping 2009).

3.2. Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR, Multiple Linear Regression, MLR)

Regresyon ile ilgili analizler iki veya daha çok değişkenler arasında olan ilişkiyi belirlenmesi için kullanılan bir istatistik yöntemidir (Montgomery vd. 2012; Ekinci 2017). Regresyon analizinde değişkenler arasındaki ilişkiyi açıklayabilmek adına matematiksel modeller oluşturulur. Doğrusal Regresyon kendi içinde Basit Doğrusal Regresyon ile Çoklu Doğrusal Regresyon şeklinde gruplandırılabilir. Basit Doğrusal Regresyon modelinde iki değişken yer alır (Ekinci 2017). ÇDR’de ise birden fazla değişken yer almaktadır. Regresyon işleminde eksenler arasındaki ilişkinin görselleştirilmesi aşağıdaki Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Çoklu doğrusal regresyon modeli (Ekinci 2017)

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki} + \varepsilon_i \quad (3.1.)$$

Anakütle regresyon model denklemi 3.1.'de verilmiştir. Çoklu regresyon modeli matris gösterimi denklem 3.2.'de verilmiştir (Ekinci 2017).

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nk} \end{bmatrix}, \quad \beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix}, \quad \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix} \quad (3.2.)$$

Yukarıdaki formüllerdeki x; k adet bağımsız değişkeni, y bağımlı değişkeni, e ise hata değerini göstermektedir.

3.3. Temel Bileşen Analizi (TBR)

Temel bileşen analiz (TBR), 19.yy başlarında Pearson tarafından oluşturulmuş ve Hotelling tarafından geliştirilmiştir (Jolliffe 2002). TBR, kapsamlı bir değişken içeren kümeyi, veri kaybı olmadan daha küçük bir değere çeviren ve boyut indirgemesini amaçlayan bir yöntemdir (Jolliffe ve Cadima 2016). Özetle TBR, aralarında korelasyon sahip değişkenler içeren bir veri setini daha az değişkene ve daha düşük korelasyona sahip bir veri setine dönüştürmeyi amaçlar (Okur 2017). TBR, öncesinde tahmin edilen ve olması gereken değişkenleri sunan bir analizdir (Ramsay ve Silverman 1997). Birden fazla değişken içeren bir istatistik yöntemi olan TBR; tanıma, boyut indirgenmesi, sınıflandırma ve yorumlama olanağı sağlamaktadır (Hotelling 1933).

Çok bantlı görüntülerin içerisindeki spektral bantlar arasında yüksek korelasyon vardır. Spektral aralıkların sayısı çoğaldıkça komşu bantların çok yüksek korelasyona sahip olacaktır (Çölkesen 2015). TBR, yüksek ihtiva eden değişkenleri aralarında korelasyon ihtivası olmayan yeni bir koordinat sistemine dönüştürmektedir (Kandil 2017). TBR, belirlenen görüntüyü alt gruplara dayalı olarak değiştiren ve dönüşümü keskinleştirilecek bölgeye hassas, füzyon sonuçlar üreten istatistiksel araçtır (Ayhan ve Atay 2014).

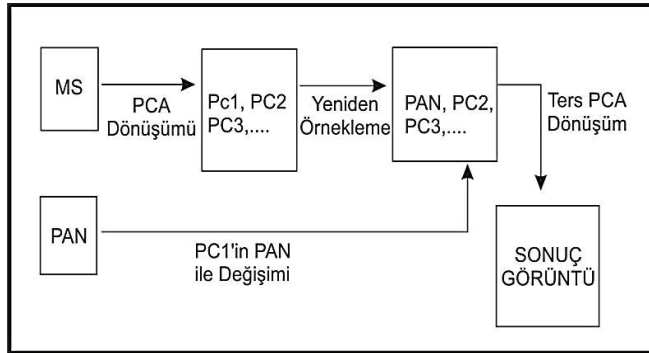
Bu dönüşümde, uzaktan algılanan verilerdeki parlaklık değerleri yeniden hesaplanarak bir koordinat sisteminde tanımlanır (Okur 2017). TBR çok bantlı multispektral verilere uygulanır ve temel bileşenler ortaya çıkartılır. Oluşan birinci temel bileşen ile pankromatik görüntüler yer değiştirmektedir. Ters ana bileşen dönüşüm ile görüntülerin uzayına dönüştürülür (Kandil 2017). Ana bileşen dönüşümü sonucu kazanılan yeni pikseller, yeni koordinat sisteminde tanımlandıktan sonra 1. Temel bileşen eksen (PC1), en yüksek değerdeki varyansına sahip ve fazla miktardaki bilgiyi içinde barındırmaktadır (Abas 2011).

Temel bileşenlerin dönüşümlerinin eşitlikleri (Okur 2017):

$$\begin{bmatrix} PC1 \\ PC2 \\ PC3 \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ 1/2 & 0 & -1/2 \\ -1/4 & 0 & -1/4 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (3.3.)$$

PC1 temel bileşen analizindeki eksenleri temsil etmektedir. Ters dönüşüm eşitliği ise aşağıda verilmiştir.

$$\begin{bmatrix} Ryeni \\ Gyeni \\ Byeni \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & -2/3 \\ 1 & 0 & 4/3 \\ 1 & -1 & -2/3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} PAN \\ PC2 \\ PC3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R0 + \delta' \\ G0 + \delta' \\ B0 + \delta' \end{bmatrix}, \delta' = PAN - PC1 \quad (3.4.)$$



Şekil 3.6. Temel bileşenler analizlerinin (tba) akış diyagramı (Vijayaraj 2004);

TBA'nın temel işleyiş işlemleri yukarıdaki Şekil.3.6'da ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Temel bileşen analizinin mekânsal veriye dayalı çalışma alanları çoklu doğrusal regresyon ile benzerdir. Bazı çalışmalarda mekânsal verinin yorumlanmasında iki yöntem birden kullanılmıştır.

Coğrafi ortak değişkenler ve SPLINE enterpolasyon yöntemi ile tespit edilen kirlilik verileri temel bileşenler analizi ile hava kirliliğini modellemek için kullanılabilir. Bunun için PC (temel bileşen) puanlamalarının tahmin doğruluğu ile işlemler yapılır (Bose vd. 2018).

3.4. Kısmi En Küçük Kareler Regresyonu (KEKKR)

Kısmi En Küçük Kareler Regresyonu, 19.yy Sonlarına doğru Herman Wold tarafından geliştirilmiştir. Çoklu regresyon analizi ve temel bileşen analizini bir araya getiren yeni bir yöntemdir. Bu analiz, bağımlı olmayan değişken kümesi (X) içerisindeki verinin çok fazla olması ve bağımlı (Y) değişkenin tahmin edilmesi gerektiğinde kullanılmaktadır (Abdi 2003).

Kısmi en küçük kareler analizi sonucu çok sayıda doğrusal bağlantı bulunan değişkenler, az sayıda ve bağlantı bulunmayan yeni değişkenler elde edilmektedir. TBR'den farkı ise daha az bileşenli bir model oluşturmayı hedeflemektedir. KEKKR'de bağımlı ve bağımsız değişkenlerde her biri için ayrı modellemeler gerçekleştirilir. Buradaki t_j , u_j 'lerdeki gizli değişkenler olmaktadır, t_j 'ler birbirlerine ve aynı zamanda sonraki olan u_j 'ye dik şeklindedir. KEKKR metodundaki bağımlı ve bağımsız değişkenlerin her biri bir değişken bloğu olacak şekilde değerlendirilmesi şeklinde alınarak ve sonrasında birbirine dik, karşılıklı bağımsız ve orijinal olan bağımsız değişkenlerin doğrusal kombinasyonları olacak şekilde gizli değişkenler elde edilmektedir. Edinilen gizli değişkenler ise yeni bağımsız değişkenler olarak bağımlı değişkenin tahmin elde edilmesinde kullanılmaktadır (Abdi 2003).

Kısmi en küçük kareler regresyonunda;

SIMPLS algoritması (De Jong 1993),

UNIPALS algoritması (Glen vd. 1989),

Ortogonal yükler kısmi en küçük kareler regresyonu (Martens 1985),

Özvektör algoritması (Höskuldsson 1988),

Ortogonal skorlar kısmi en küçük kareler regresyonu (Wold vd. 1983,1984),

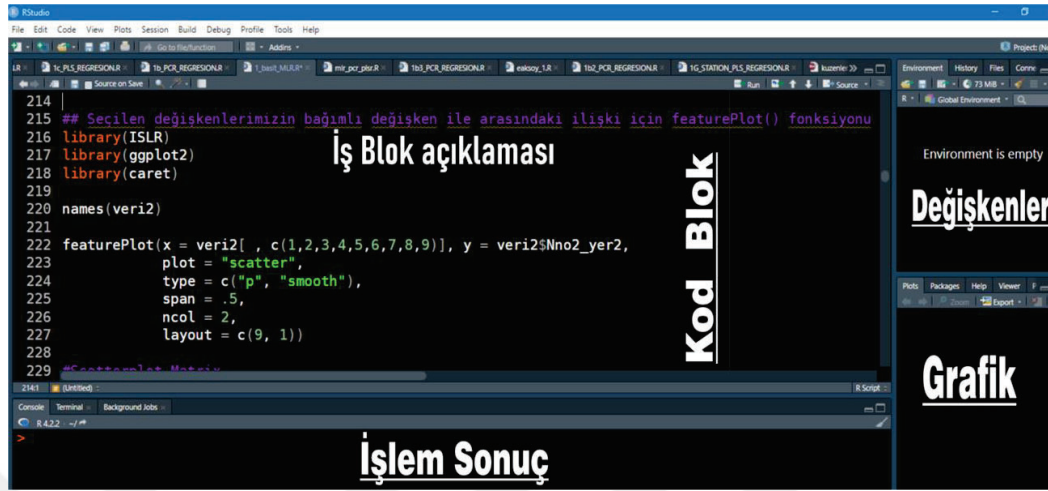
SAMPLS algoritması (Bush ve Nachbar 1993),

Çekirdek algoritması (Rännar 1998),

Helland algoritması (Helland 1988) gibi çeşitli algoritma teknikleri kullanılmaktadır.

Birinci nesil çoklu regresyon yöntemleri: küme analizi, araştırma ve doğrulayıcı faktör analizleri, varyans analiz, çok değişkenli ölçek, lojistik regresyon birinci nesil yöntemlerdir. İkinci nesil çoklu regresyon yöntemleri: Kısmi en küçük kareler yapısal eşitlik modellemesi (PLS-SEM) ile kovaryans taban yapısal eşitlik modellemesi (CB-SEM) ikinci nesil yöntemler olarak sıralanabilir (Çakır 2019).

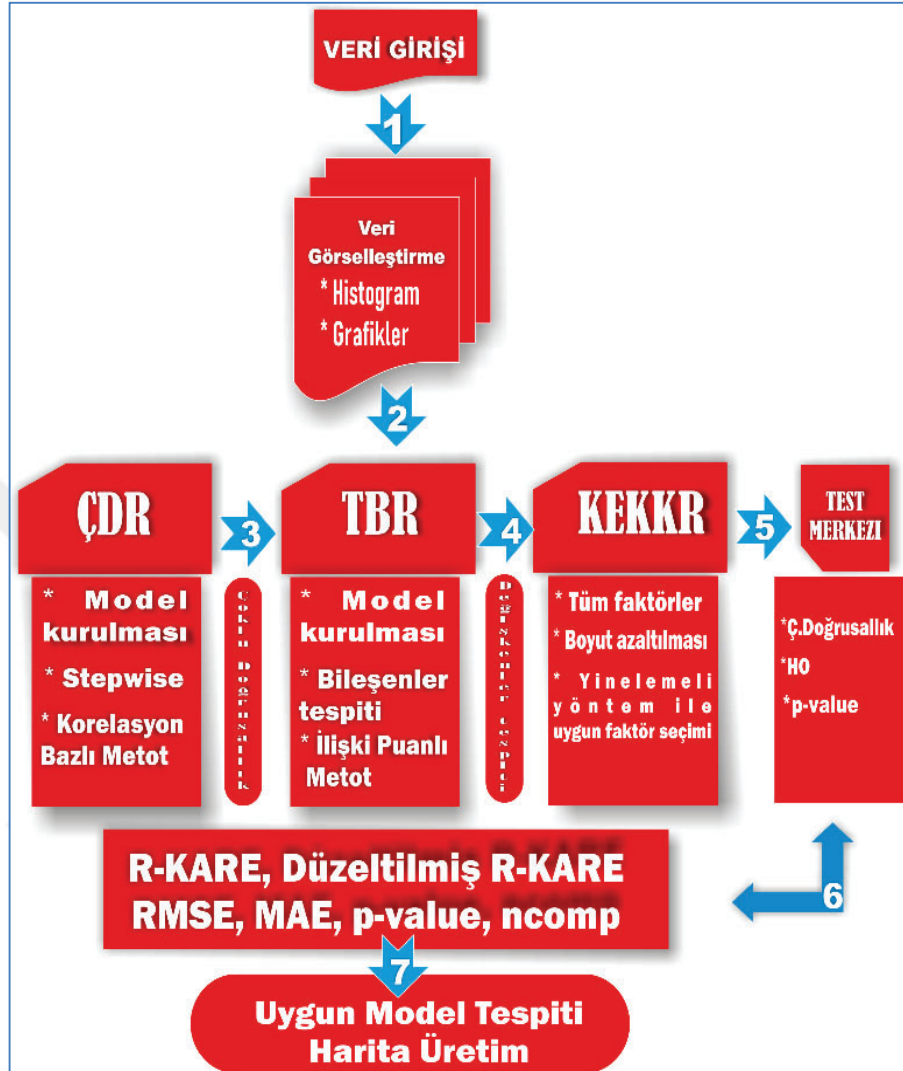
$$X = \sum_{j=1}^A t_j p'_j + E \text{ ve } Y = \sum_{j=1}^A u_j q'_j + F \quad (3.5.)$$



Şekil 3.7. Kod blokları

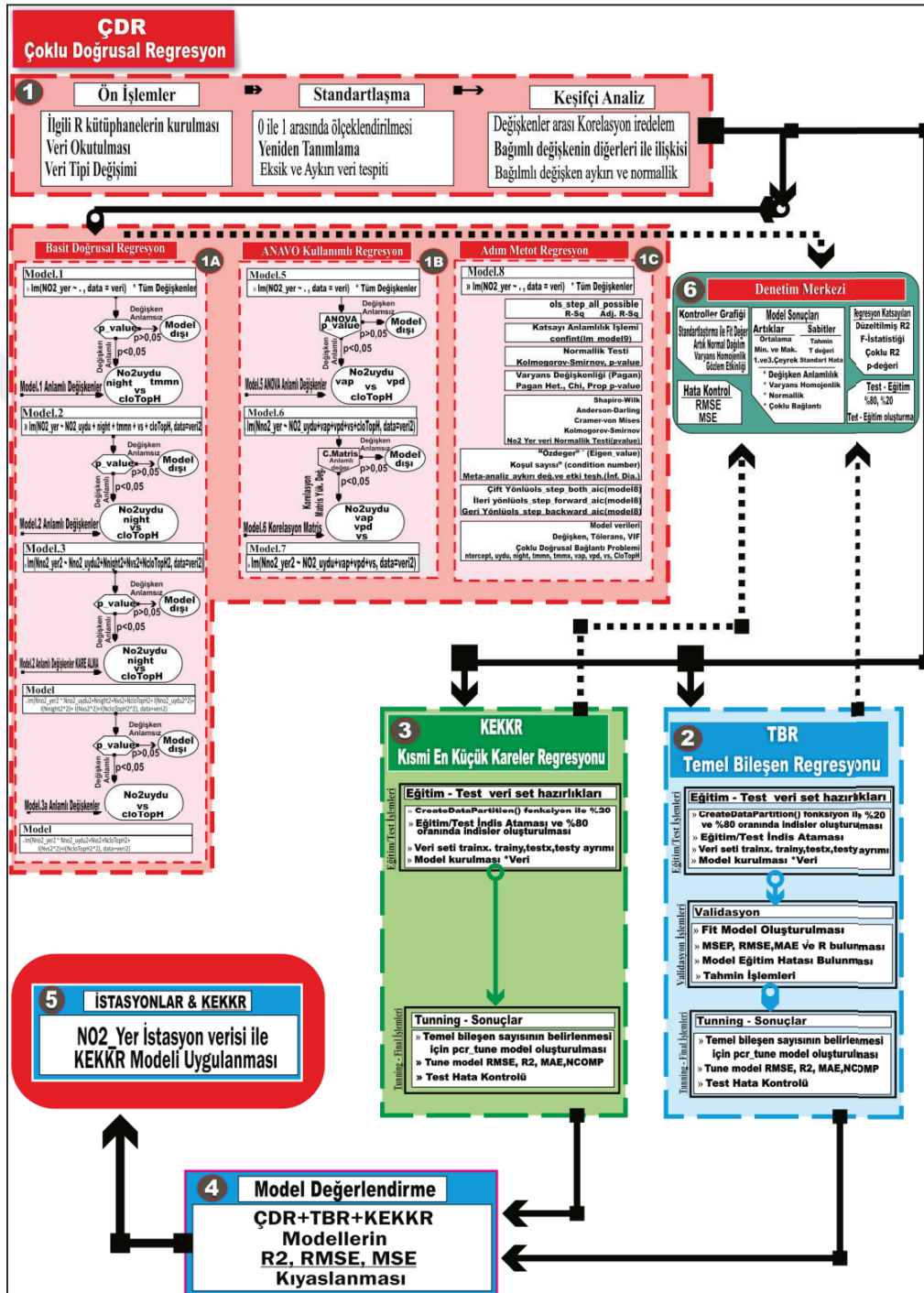
Çalışmadaki ÇDR, TBR ve KEKKR metotlarının uygulama adımları yukarıdaki Şekil 3.7’de gösterilen R yazılım platformunda gerçekleştirilmiştir. İşlemler birçok yönden ortak özellikler içermiştir. Üç metot uygulamasında da verilerin genel yapısının görselleştirilmesi amaçlı keşifsel istatistiksel işlemleri yapılmıştır. Bu aşama verilerin kutu grafiği dağılımı, histogram grafikleri, en düşük, en yüksek, 1.çeyrek gibi bilgilerin elde edilmesi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular ışığında verinin normal dağılımı incelenmiştir. Sonraki adımda verilerin standartizasyon işlemi yapılmıştır. Verilerin birbiri ile uyumlu olması için ölçekleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Her bir değişkenin kendi içinde verilerinin 0 ile 1 arasında olması sağlanmıştır. Model oluşturulmuş ve ilişki tespiti yapılmıştır. Çoklu doğrusallık problemi araştırılmış ve VIF değerlerinin elde edilmesi, dağılımların kontrolü ve ilgili testler sonucunda çoklu doğrusallık tespiti ile ÇDR metotundan TBR metotuna geçilmiştir. TBR işlemi gizli değişkeni ve etki güçlerini vermemesi nedeniyle KEKKR metotuna geçiş yapılmış ve sonuçlar alınmıştır. TBR ve KEKKR metotlarının ortak işlemleri verinin test ve eğitim olacak şekilde ayrıştırılması (Data Spliting) işlemidir. Ayrıştırılma sonrasında test doğruluğu kontrolü yapılmıştır. Bu bölüm iki model uygulamasında da bulunmaktadır.

Bu aşamadan sonra TBR ve KEKKR metotlarında farklı işlemler yapılmıştır. Bu işlemlerin adımları Şekil 3.8’de ayrıntılı ve açıklamalı olarak gösterilmiştir (Xueping 2009). Bağımlı değişken yersel NO_2 ’nin bağımsız değişkenler uydu NO_2 , night, vap, vs, clotopH, tmmx, tmmn’nin girdi veri olarak kullanılmıştır. İşlemler 7 adımdan oluşmaktadır. Çıkan sonuç bağımlı değişken yersel ölçüm NO_2 ölçülmeden bağımsız değişkenler ile elde edilen sonuç ürünün doğruluğu ve açıklama oranıdır. Elde edilen sonuç değerleri ile görselleştirilmek amaçlı haritalar üretilmiştir.



Şekil 3.8. ÇDR, TBR VE KEKKR temel işlemleri (Xueping 2009).

Çalışma metodolojisinin izlemiş olduğu işlemlerin ayrıntılı açıklaması aşağıdaki Şekil 3.9'da akış diyagramı şeklinde verilmiştir.



Şekil 3.9. ÇDR, TBR VE KEKKR metot uygulaması işlem akış şeması

Yukarıdaki Şekil 3.9'da ÇDR, TBR VE KEKKR metot uygulaması işlem akış şemasında 1.bölüm ilgili kütüphanelerin yüklenmesi işlemleri gösterilmiştir. Şemadaki

1a, 1b, 1c, 1d bölümlerinde çoklu regresyon metodu işlem adımları gösterilmiştir. Bu bölümlerin sonuçları 4. ve 6.bölüm olan test bölümünde test işlemleri ve doğruluk kontrolleri yapılmıştır.

1.bölüm ve alt işlemlerinden sonra 2. Bölüm olan TBR bölümüne geçilmiş 4. ve 6.bölümdeki kontrolleri yapıldıktan sonra 3.bölüm olan KEKKR bölümüne geçiş yapılmıştır. KEKKR bölümü sonrasında elde edilen bulguların 4. ve 6.bölüm olan test bölümünde test işlemleri ve doğruluk kontrolleri yapılmıştır. İşlemler sonrasında nihai hedef olan 5.bölüm olan modelin yer istasyon verisi ile kıyaslaması yapılmıştır.



BULGULAR

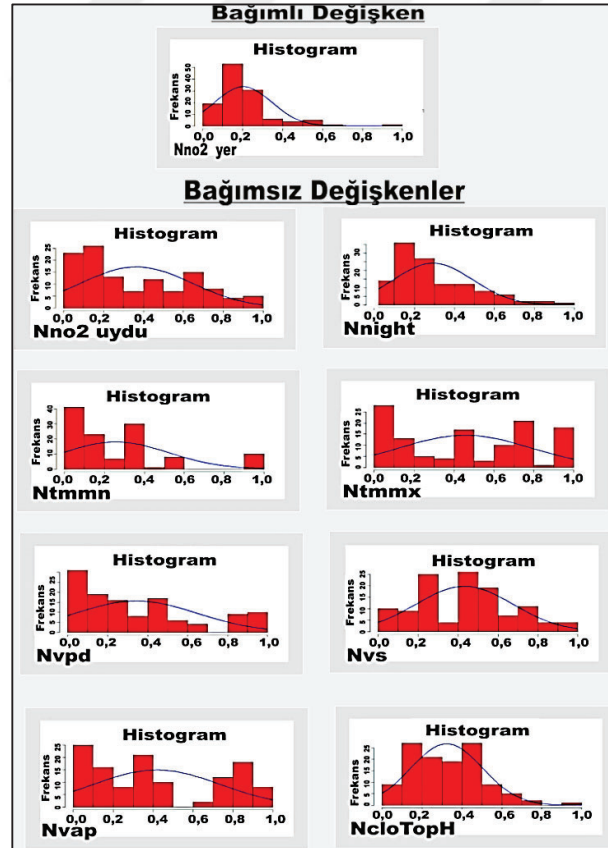
4.1. ÇDR: Çoklu Doğrusal Regresyon (Multi Lineer Regression, MLR)

Bu bölümde her bir iş görevi için bir kod bloğu yazılmıştır. Bu kod bloklarına bir başlık verilmiştir. Bu başlıklar bir önceki bölüm materyal ve metotlar bölümünde kullanılmıştır. Bu başlıkların çalışması sonucu çıktı olarak sayısal veya grafik çıktılar elde edilmiştir. Elde edilen çıktıların değerlendirmeleri yapılmıştır.

4.1.1. Klasik çoklu doğrusal regresyon

ÇDR işleminde kullanılan tüm değişkenlerin histogramları (hist(.)) komutu ile çizdirilmiştir. Alınan histogramlar aşağıda toplu olarak Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Grafikler üstünde ayrıca verinin normallik dağılım grafiği çizgisel olarak da gösterilmiştir.

NcloTopH ve NO₂ yersel ölçüm normal iken diğer değişkenlerin normal dağılmadıkları gözlemlenmiştir. NO₂ yersel ölçüm, NO₂ uydu bazlı ölçüm, Night değişkenlerin ise belirgin şekilde sağa çarpık oldukları tespiti görsel olarak yapılmıştır. İleri bölümlerde bu görsel tespit işlemi yanı sıra sayısal değerler ile de normallik kontrolleri yapılmıştır.



Şekil 4.1. Histogram grafikleri

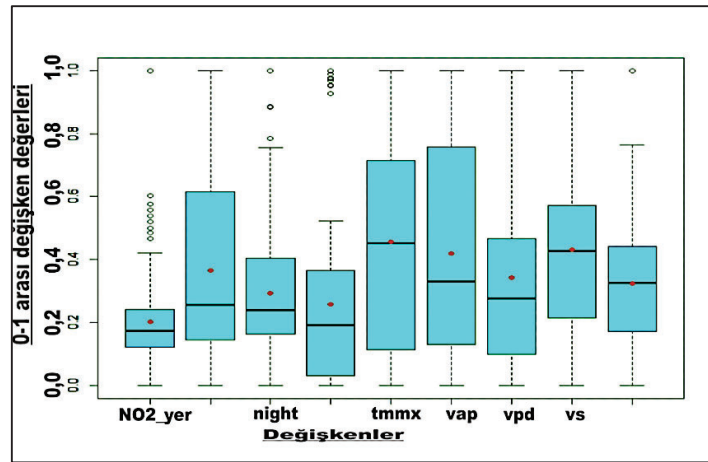
Değişkenlerin en düşük, 1.Çeyrek, Medyan, Ortalama, 3.Çeyrek değerlerinin elde edilmesi için (summary(.)) komutu kullanılmıştır. İşlem sonucunda aşağıdaki Çizelge 4.1 elde edilmiştir (NO₂ Y.: Uydu yer, NO₂ Y.: Uydu uydu). Sayısal olarak elde edilen Medyan, Alt/üst dörtlük ve Alt/üst uç değer ile (Medyan derinliği= (adet+1)/2, Dörtlüğün derinliği(Fu)= (Medyan derinliği +1)/2, FL=1 işlemleri sonucu çıkan değerlerden, bu formüllere göre çıkan sonuçlara göre $FU - M > M - FL \rightarrow$ sağa çarpık, $FU - M < M - FL \rightarrow$ sola çarpık, $FU - M = M - FL \rightarrow$ simetrik çıkarımları yapılmıştır.

Çizelge 4.1. Değişkenlerin En düşük, 1.Çeyrek, Medyan, Ortalama, 3.Çeyrek değerleri

	NO ₂ .y	NO ₂ .u	night	tmmn	tmmx	vap	vpd	vs	cloT opH
En düşük	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1st Qu.	0.123	0.144	0.164	0.0317	0.115	0.130	0.099	0.214	0.172
Medyan	0.174	0.257	0.239	0.193	0.451	0.330	0.276	0.429	0.657
A.ortalama	0.203	0.365	0.293	0.258	0.456	0.419	0.343	0.432	0.324
3rd Qu.	0.242	0.615	0.404	0.366	0.715	0.758	0.462	0.571	0.439
Maksimum.	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Değişkenlerin en düşük, 1.Çeyrek, Medyan, Ortalama, 3.Çeyrek değerlerinin yukarıda gösterilen sayısal biçimi, kutu grafik şeklinde görsel olarak gösterimi aşağıdaki Şekil 4.2’de yapılmıştır. A.ortalama (Ortalama değer) değerinin kırmızı nokta ile gösterimi yapılmıştır. Veri setinin yayılım karakteristiği, heterojen/homojenlik durumu, pozitif/negatif çarpıklı ve aykırı değerler gibi çıkarımlar kutu grafiği yorumlanması ile elde edilmiştir.

NO₂ uydu bazlı ölçüm, tmmx, vap çubuk boyutu küçük olması nedeniyle veri dağılmasının olduğu, kısa olan NO₂ yersel ölçüm, Nnight değişkenlerin ise çok az dağılmış oldukları tespiti yapılmıştır.



Şekil 4.2. Değişkenlerin kutu grafik şeklinde gösterimi

Çarpıklık (Skewness) ile Basıklık (Kurtosis) değerlerinin +1.5 ile -1.5 aralığında olması durumunda normal kabulü olmaktadır. (Tabachnick and Fidell, 2013) Aşağıdaki Çizelge 4.2’de çalışmada kullanılan değişkenlerin Çarpıklık ve Basıklık değerleri elde edilmiştir. Bu bilgiler ışığında normal dağılım sorgulamasında kullanılmıştır. Standart sapma ise verilerin hangi miktarda ortalamaya yakın olduğunun bir sayısal göstergesidir. Standart sapma büyük olması verilerin ortalama değerden uzak şekilde dağıldığının gösterdiği bilgisi kullanılarak elde edilen değerlerin çıkarımları yapılmıştır. Çarpıklı (Çarpıklık), Basıklık (Kurtosis), Ortalama (A.ortalama), Standart Sapma (Standard Deviation) ve Varyasyon katsayısı (Coefficient of variation) değerleri aşağıdaki Çizelge 4.2’de topluca gösterilmiştir.

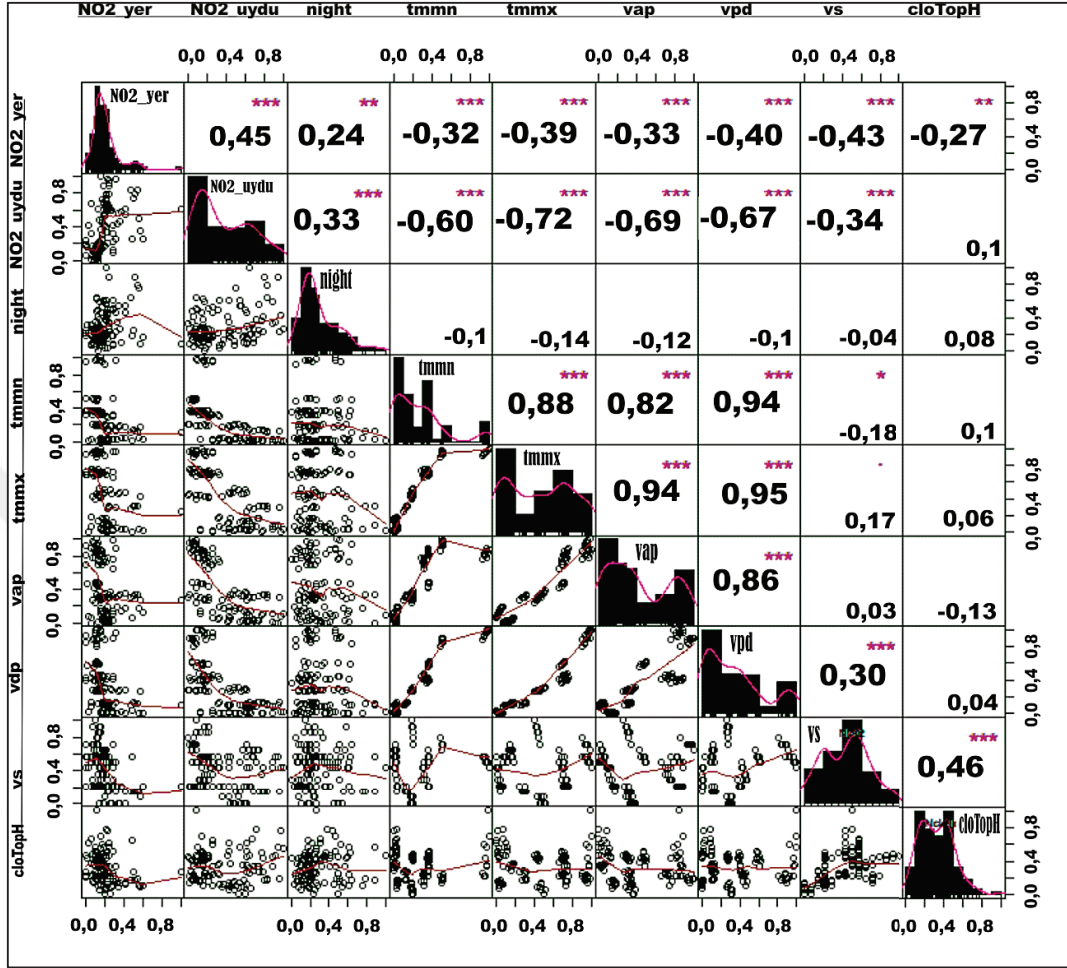
Çarpıklık değeri sıfıra eşit ise simetrik (sol ve sağ sapma yoktur.), -0.5 ile 0.5 değerleri arası ise yaklaşık simetrik, ± 0.5 ile ± 1 değerleri arası ise orta dereceli çarpık, -1’den küçük ise büyük miktarda çarpık olmasından dolayı tmmx, vs değişkenlerinin simetrik, NO₂ uydu bazlı ölçüm, vap değişkenlerinin yaklaşık simetrik, cloTopH değişkeninin ise orta derece çarpık ve diğerlerinin büyük miktarda çarpık olduğunun tespiti yapılmıştır.

Çizelge 4.2. Çalışmada kullanılan değişkenlerin Çarpıklık ve Basıklık değerleri

Değişken	A.ortalama	Stan. Sapm.	S.Var. Kat.	Çarpıklık	Basıklık
NO ₂ yersel ölçüm	0.2029437	0.1422588	0.7009766	2.22079849	10.886234
NO ₂ uydu bazlı	0.3650943	0.2774028	0.7598114	0.56937318	2.095767
night	0.2930138	0.1976116	0.6744104	1.22663761	4.279987
tmmn	0.2578050	0.2657520	10.308.256	1.43858108	4.637071
tmmx	0.4560549	0.3310628	0.7259274	0.08304212	1.609865
vap	0.4191379	0.3208927	0.7656017	0.35063905	1.668205
vpd	0.3428385	0.3048452	0.8891800	0.79797975	2.502495
vs	0.4321429	0.2425091	0.5611781	0.07595008	2.278171
cloTopH	0.3239205	0.1785075	0.5510843	0.64157939	3.638813

Veri setindeki değişkenlerin dağılım ve saçılım grafikleri ile değişkenlerin birbiri ile korelasyonlarının gösterilmesi aşağıdaki Şekil 4.3’de gösterilmiştir. Korelasyonların pozitif ve negatif yönleri ile sayısal değerleri birlikte gösterilmiştir. Değişkenler arasında korelasyonun yüksekliği “*” sayısı miktarı ile doğru orantılıdır. Sayı arttıkça korelasyon yüksek anlamına gelmektedir. İşlem (chart.Correlation(.)) komutu ile yapılmıştır.

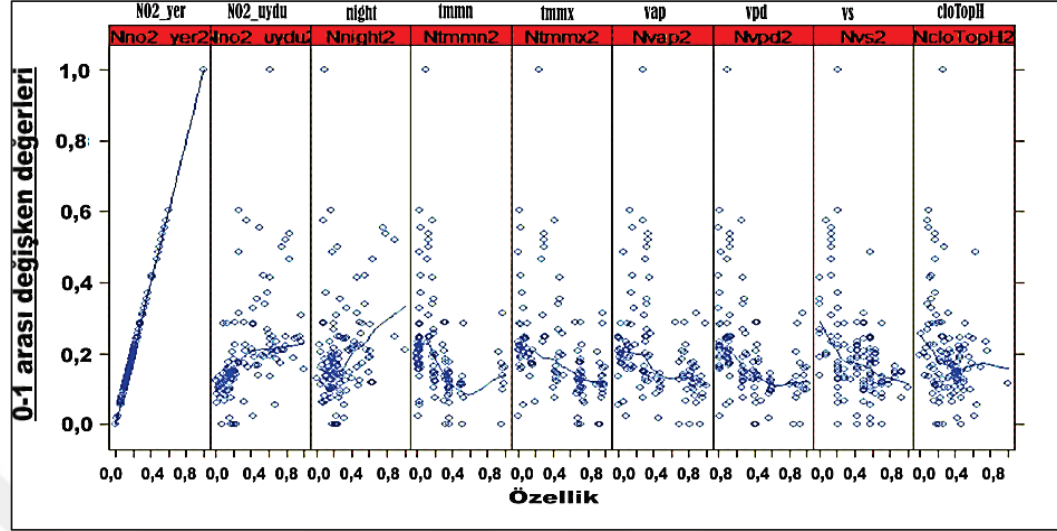
İkili ilişkilerin irdelemesi sonucu bağımlı değişken NO₂ yersel ölçüm, NO₂ uydu bazlı ölçüm, Vpd, Vs, TMmx bağımsız değişkenleri ile orta düzey ilişki tespit edilmiştir. NO₂ uydu bazlı ölçüm değişkeni ise ikili karşılaştırmada Tmmn, Tmmx, Vap ve Vpd değişkenleri arasında *orta düzey* ilişki tespit edilmiştir. Önemli bir etken olan rüzgar değişkeni Vs ile CloTopH arasında *orta düzey* ilişki tespit edilmiştir. Çalışmada veri kaynağı TERRACLIMATE’den alınan Tmmn, Tmmx, Vap ve Vpd değişkenleri birbirleri arasında en yüksek korelasyona sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum verilerin regresyonda çoklu bağlantı sorununa neden olmasını artırmaktadır.



Şekil 4.3. Veri集中的 değişkenlerin dağılım ve saçılım grafikleri ile değişkenlerin birbiri ile korelasyonları (Korelasyon matrisi)

Çalışmadaki bağımlı değişkenin bağımsız değişkenler ile arasındaki ilişkinin grafiksel gösterilmesi amacıyla (*featurePlot(x, y, .)*) komutu kullanılmış ve aşağıdaki Şekil 4.4'de ilişki sonuçları alınmıştır.

NO₂ yersel ölçüm ile diğer değişkenlerin dağılım ilişkileri incelenmiştir. NO₂ uydu bazlı ölçüm değişkeninin arasında bir uyumlu bir dağılım olduğu tespiti yapılmıştır. Kırmızı çizgi üzerinde noktaların dağılmış olması dağılımın normal olduğunun bir göstergesidir.



Şekil 4.4. Çalışmadaki bağımlı değişkenin bağımsız değişkenler ile arasındaki ilişki

Korelasyon matrisinin görselleştirilmesi için (*corr matrix*) uygulaması yapılmıştır. Aşağıdaki Çizelge 4.3’de elde edilmiştir. Çizelgede koyu renkli değerler “Anlamlı” ilişkiyi, koyu renkli, italik ve altı çizgi değerler ise “Yüksek Anlamlı” ilişki varlığını gösterdiği tespiti yapılmıştır.

Çizelge 4.3. Korelasyon matrisinin görselleştirilmesi

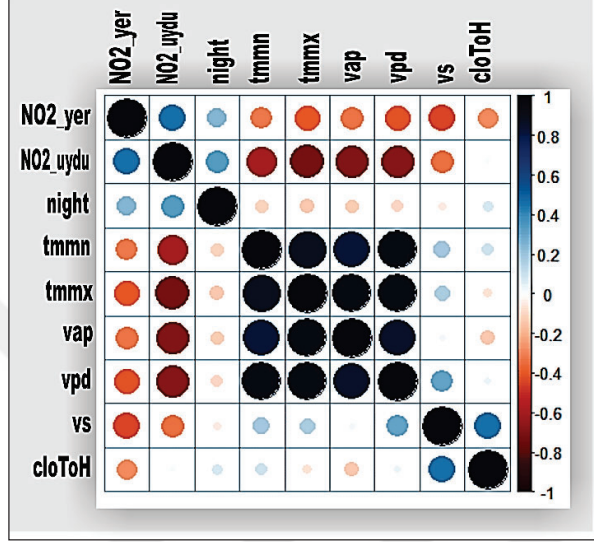
	NO ₂ y.	NO ₂ u.	night	tmmn	tmmx	vap	vpd	vs	cloTopH
NO ₂ y.	1	0.46	0.24	-0.32	-0.39	-0.326	-0.40	-0.43	-0.27
NO ₂ u.	0.45	1	0.33	<i>-0.60</i>	<i>-0.72</i>	<i>-0.69</i>	<i>-0.67</i>	-0.34	0.01
night	0.24	0.33	1	-0.10	-0.14	-0.12	-0.10	-0.04	0.08
tmmn	-0.32	<i>-0.56</i>	-0.10	1	<i>0.89</i>	<i>0.82</i>	<i>0.9</i>	0.18	0.10
tmmx	-0.39	<i>-0.72</i>	-0.14	<i>0.89</i>	1	<i>0.94</i>	<i>0.95</i>	0.17	-0.06
vap	-0.34	<i>-0.69</i>	-0.12	<i>0.83</i>	<i>0.94</i>	1	<i>0.86</i>	0.03	-0.14
vpd	-0.40	<i>-0.67</i>	-0.10	<i>0.94</i>	<i>0.95</i>	<i>0.86</i>	1	0.30	0.04
vs	-0.43	-0.34	-0.04	<i>0.18</i>	0.17	0.03	0.30	1	<i>0.46</i>
cloTopH	-0.28	0.013	0.08	0.10	0.06	-0.14	0.04	0.46	1

* Koyu renkli değerler “Anlamlı”, “Koyu renkli, İtalik ve Altı çizgi kutucuklar ise “Yüksek Anlamlı” ilişki varlığını göstermektedir.
 NO₂ y. : NO₂ yersel ölçüm, NO₂ u. : NO₂ uydu bazlı ölçüm

Yukarıda Çizelge 4.1’de sayısal gösterimi yapılan değişkenler arasındaki korelasyon değerlerinin daha iyi anlaşılması ve yorumlamada kolaylık sağlaması amacıyla aşağıdaki Şekil 4.5’deki görsel elde edilmiştir. Renk skalası ile korelasyon değeri gösterimi yapılmıştır. Mavi renk en düşük korelasyonu gösterirken kırmızı renk en yüksek korelasyon değerini göstermekte olacak şekilde renklendirilmiştir. Ayrıca sayısal değerde grafikte gösterimi yapılacak şekilde (ggcorrplot, correlation_matrix) komutları kullanılarak elde edilmiştir.

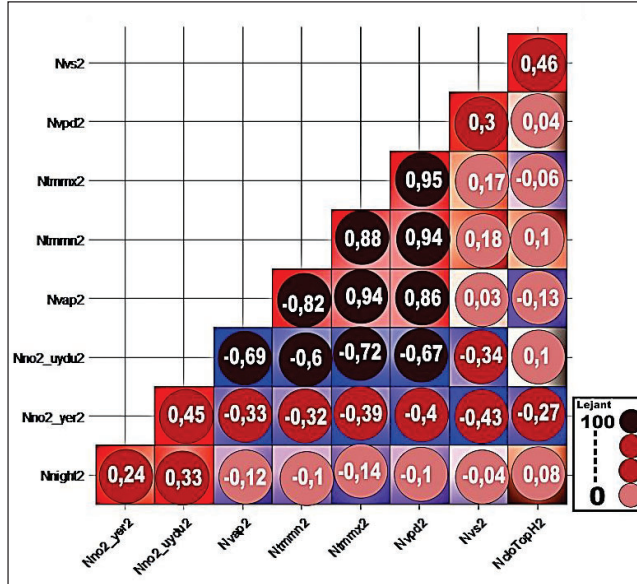
Tmmx ile Vpd, Tmmn ile Vpd, Tmmx ile Tmmn, Vap ile Tmmn, Vap ile TMMx ve Vap ile Vpd yüksek ilişki tespiti yapılmıştır.

NO₂ yersel ölçüm ile en yüksek ilişki NO₂ uydu bazlı ölçüm ile olduğu tespiti yapılmıştır. NO₂ yersel ölçüm ile Night ve NO₂ uydu bazlı ölçüm ile Night ilişkisinde kayda değer ilişki tespiti yapılmıştır.



Şekil 4.5. Değişkenler arasındaki ilişki grafiği-a

Değişkenler arasındaki ilişkinin farklı şekillerde gösterilmesi yapılabilmektedir. Aşağıdaki Şekil 4.6'daki gösterim ile değişkenler arasındaki ilişki matris yapısı ile sayısal ve renk skalası şeklinde gösterim olarak yapılmıştır.



Şekil 4.6. Değişkenler arasındaki ilişki grafiği-b

Çalışmamızda bağımlı değişken olarak kullandığımız NO₂ yersel ölçüm değişkeninin her bir değişken ile ilişkisinin korelasyon değer gösterimi yukarıdaki korelasyon çizelgelerinde incelenebilmektedir. Ancak Bağımlı değişkenin her bir bağımsız değişken ile ikili ilişkisindeki “p-değer” değerinin ayrıca elde edilmesi amacıyla “corr.mat()” komutu kullanılarak aşağıdaki Çizelge 4.4’deki değerler elde edilmiştir. Bu değerler tartışma bölümünde değerlendirilmiştir.

P-değer(Sig: significance) değeri +1 ile -1 değeri arasında, 0.5’ten küçük olması ve 0’a yakın olması anlamlılığı artırmaktadır bilgisi ile aşağıdaki değerler incelenmiş ve tüm değerlerde belli ölçülerde anlamlılık olmakla birlikte NO₂ uydu bazlı ölçüm, tmmx, vpd ve vs değişkenlerinin diğer değişkenlere göre daha anlamlı olduğu tespiti yapılmıştır.

Çizelge 4.4. Bağımlı değişkenin her bir bağımsız değişken ile ikili ilişkisindeki “p-değer” değerleri

<i>Katman Adı</i>	NO₂ yersel ölçüm (p-değer)
NO₂ yersel ölçüm	0.000000e+00
NO₂ uydu bazlı ölçüm	2.264724e-07
night	8.269095e-03
tmmn	3.989992e-04
tmmx	1.007026e-05
vap	2.765841e-04
vpd	5.714382e-06
vs	8.072989e-07
cloTopH	2.681014e-03

Çoklu doğrusal regresyon bölümünün klasik model tipi olarak kurulan model, model.1 olarak adlandırılmıştır. Kodlaması **modell <- lm(NO₂ yersel ölçüm2 ~ . , Veri = veri)** olarak yapılmış ve çalıştırılmıştır. Oluşturulan model “summary(model1)” komutu ile aşağıdaki Çizelge 4.5’deki Residual bölümünde en düşük, 1.Çeyrek, Medyan, Ortalama, 3.Çeyrek değerlerideğerleri, Katsayılar bölümünde ise değişkenlerin Tahmin, Std. Hata, t değeri, Pr(>|t|) ve * sonuçları elde edilmiştir. Pr(>|t|) değeri 0.05’ten büyük olanlar bir sonraki kuracağımız çoklu doğrusal regresyon formülünden anlamsız olmaları nedeniyle çıkarılmıştır. Bu nedenle bu değişkenler dışındaki model.2’de kullanmış olacağımız değişkenler ve çizelgedeki değerleri koyu renk ile belirgin hale getirilmiştir.

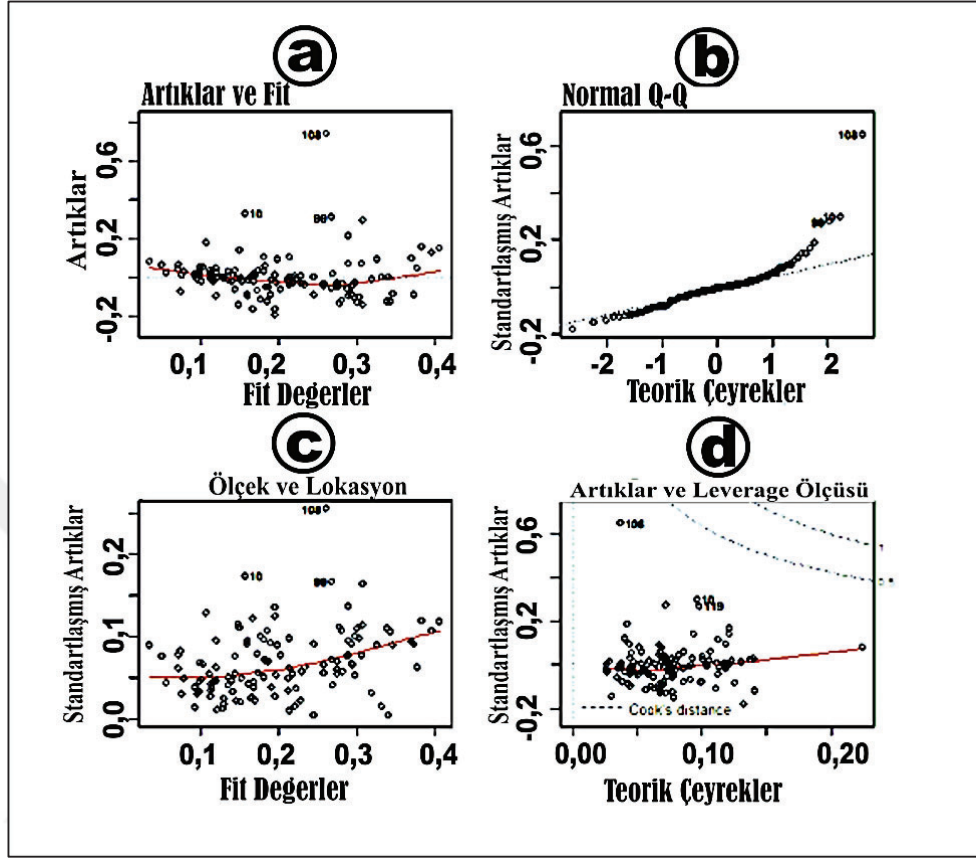
İşlem sonucunda p-değer: 7.08e-09 olması nedeniyle H0 hipotezi reddedilir. Bu istatistikteki tesadüfen doğru olma şansının düşüklüğünün tespiti işlemidir. İşlem sonucunda Regresyon değerleri Çoklu R kare: : 0.38, Düzeltilmiş R kare: 0.33 olarak bulunmuştur. 0->ilişki yok, 0.01-0.29-> düşük düzey, 0.30-0.70-> orta, 0.71-0.99-> yüksek, 1.00-> mükemmel sınıflandırmasına göre “orta” düzey ilişki tespit edilmiştir.

Çizelge 4.5. Artıklar ve Katsayılar değerleri

Artıklar:					
	En Düşük	1.Çeyrek	Medyan	3.Çeyrek	Maksimu
	-0.19497	-0.05311	-0.00724	0.02696	0.73940
Katsayılar					
	Tahmin	Std. Hata	t değeri	Pr(> t)	*
(Intercept)	0.31745	0.05819	5.455	0.0000003	***
NO₂ u.	0.06582	0.06466	1.018	0.31092	*
night	0.12736	0.05888	2.163	0.03269	*
tmmn	0.24823	0.14228	1.745	0.08381	.
<i>tmmx</i>	-0.11526	0.17387	-0.663	0.50877	
<i>vap</i>	-0.03868	0.11261	-0.343	0.73189	
<i>vpd</i>	-0.15648	0.19715	-0.794	0.42904	
vs	-0.11714	0.06899	-1.698	0.09231	.
cloTopH	-0.20623	0.07542	-2.734	0.00728	**
Anlam. Düz.: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					
Artıklar Stad. Hat.: 0.1162 on 111 serbestlik derecesi					
Çoklu R kare: 0.39, Düzeltmiş R kare: 0.33					
F-testi: 8.409 on 8 and 111 DF, p-değer: 7.08e-09					

Model.1'in Varyans homojenliği irdelemesi, artıkların normal dağılım tespiti, standartlaştırılmış artık değerlerin tespiti ve bu değerlerin aykırı gözlem verilerinin çevresinde olma veya olmama durum bilgileri, gözlemin etkinliğinin irdelenmesi amacıyla Ressiduals & Fitted, Normal Q & Q, Scale & Location, Artıklar & Leverage grafikleri elde etmek için (par(), plot()) komutları kullanılmış ve aşağıdaki Şekil 4.7'de elde edilmiştir.

NO₂ yer istasyon verisi bağımlı değişkenimizdir. Keşifsel istatistiksel bölümde değerlerin hangi aralıkta dağıldığı dağılımın normallik kontrolünde görsel olarak tespit etmemizi sağlamıştır. Bu grafikler sayesinde ayrıca veri setindeki en düşük değer, en yüksek değer, 1. Ve 3. Çeyrek bilgileri ile medyan bilgisi elde edilmiştir. Bulgular par(), plot() ve ols plot resid lev(model) komutları ile elde edilmiştir.



Şekil 4.7. Ressiduals vs fitted, normal q-q, scale-location, artıklar- leverage grafikleri
(a) varyans homojenlik, (b) normal dağılım analizi, (c) artık dağılımı, (d) kriter analizi

Elde edilen “a” bölümünde varyans homojenlik araştırılmış ve 0 etrafında rasgele dağılımı gözlemlenmiş ve gözlem sayısının az olması ile yapılan tespitin subjektif olabilme ihtimali ile bu dağılımın homojen olduğu tespiti yapılmıştır.

Elde edilen “b” bölümünde dağılımın doğru üzerinde olması sebebiyle görsel bilgi ile normal dağılmıştır tespiti yapılmıştır. Sayısal işlem ile bu sonucun desteklenmesi gerektiği sonucuna ayrıca varılmıştır.

Elde edilen “c” bölümünde standartlaştırılmış olan artık değerlerimiz için ve fitted değerlerimiz için incelenmiştir. Değerlerin dağılımı gözlemlenmiştir. Bu bölüm “a” bölüm mantığındadır.

Elde edilen “d” bölümünde +3 ile -3 arasında olma durumu irdelenmiştir. Gözlemlerin artık uygunluğu tespiti yapılmıştır.

Elde edilen “e” bölümünde etkin gözlem olması irdelenmektedir. Kriter (Leverage) $2 \cdot p/n$ ile hesaplanamamaktadır. Bu hesaplama sonucunda değer bu eşik kriteri geçiyor ise etkin gözlem bilgi ile değerlendirilmiş ve 10, 73, 99, 108, 119 olmak üzere dört adet gözlem eşik değeri aştığı tespit edilmiştir. Değer sayısı az olması nedeniyle veri seti uygunluğu tespiti yapılmıştır.

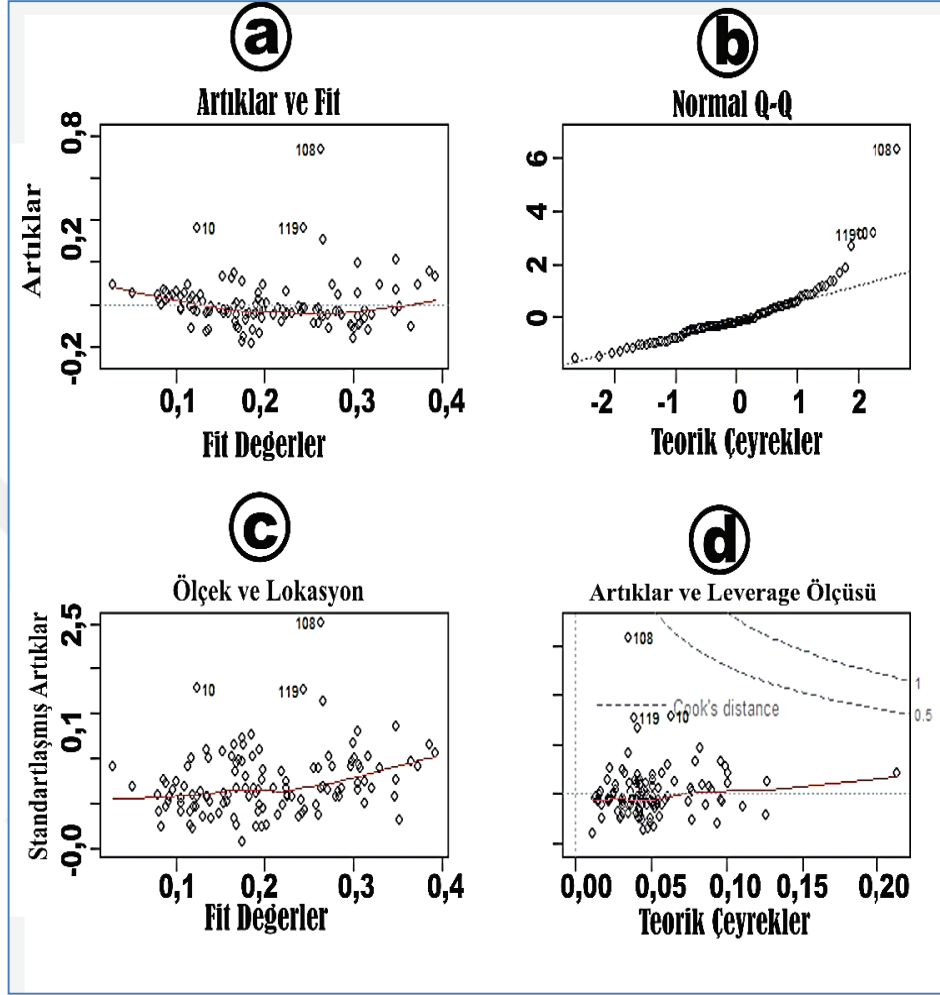
Yukarıdaki işlem sonucunda “anlamsız” tespiti, p-değer yüksek değişkenlerin dahil, düşük olanların çıkarılması ve “anlamsız” olarak nitelendirilmesi ile yeni regresyon formülünden, tmmx, vap, vpd değişkenleri çıkarılır. İşleme bağımlı değişken NO₂ yersel ölçüm, bağımsız değişkenler olarak ise NO₂ uydu bazlı ölçüm, night, tmmn, vs, cloTopH kullanılır. Bu tespitler sonucunda **model2 <- lm(NO₂ yersel ölçüm2 ~ NO₂ uydu bazlı ölçüm + night + tmmn + vs + cloTopH, Veri = veri)** komutu ile çoklu doğrusal regresyon formülü oluşturulur. Oluşturulan bu formül uygulanması ile oluşturulan veri üretim sonucu, raporlama summary (lm_model) komutu ile yapılır. Aşağıdaki Çizelge 4.6’da işlem ile ayrıca en düşük, 1.Çeyrek, Medyan, Ortalama, 3.Çeyrek değerleri ile değişkenlerin Tahmin, Std. Hata, t değeri, Pr(>|t|), * tespitleri yapılmıştır. İşlem sonucunda p-değer: 5.514e-09 olması nedeniyle H₀ hipotezi reddedilir. Bu istatistikteki tesadüfen doğru olma şansının düşüklüğünün tespiti işlemidir. İşlem sonucunda Regresyon değerleri Çoklu R kare: 0.34, Düzeltilmiş R kare: 0.31 olarak bulunmuştur. 0->ilişki yok, 0.01-0.29-> düşük düzey, 0.30-0.70-> orta, 0.71-0.99-> yüksek, 1.00-> mükemmel sınıflandırmasına göre “orta” düzey ilişki tespit edilmiştir.

Çizelge 4.6. Minimum, 1.Çeyrek, Medyan, Ortalama, 3.Çeyrek değerleri ile değişkenlerin Tahmin, Std. Hata, t değeri, Pr(>|t|), * tespitleri

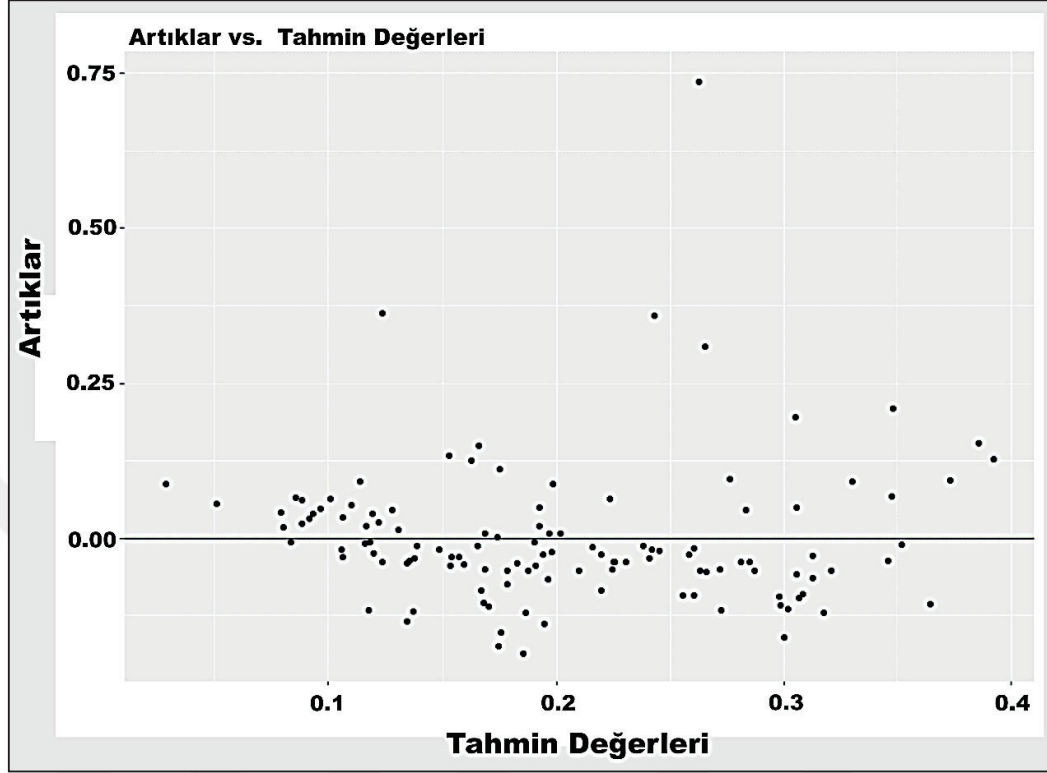
Artıklar:					
	En Düşük	1.Çeyrek	Medyan	3.Çeyrek	Maksimum
	-0.18541	-0.05252	-0.02385	0.04266	0.73724
Katsayılar:					
	Tahmin	Std. Hat.	t değeri	Pr(> t)	*
(Intercept)	0.23522	0.04052	5.805	5.91e-08	***
NO ₂ u.	0.14449	0.05588	2.585	0.0110	*
night	0.10178	0.05892	1.728	0.0868	.
tmmn	-0.03969	0.05213	-0.761	0.4480	
vs	-0.14144	0.05497	-2.573	0.0114	*
cloTopH	-0.13427	0.07088	-1.894	0.0607	.
Anlam. Düz.: 0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1					
Artıklar Stad. Hat.: 0.1185 on 114 serbestlik derecesi					
Çoklu R kare: 0.3348, Düzeltilmiş R kare: 0.3056					
F-testi: 11.48 on 5 and 114 DF, p-değer: 5.514e-09					

Model.2’in normal dağılımı, standartlaştırılmış artık değerlerin tespiti, bu değerlerin aykırı gözlem verilerinin çevresinde olma veya olmama durum bilgileri ve gözlemin etkinliğinin irdelenmesi amacıyla ((par(.), plot(.)) komutları kullanılmış ve aşağıdaki Ressiduals vs Fitted, Normal Q-Q, Scale-Location, Artıklar- Leverage Varyans homojenliği grafikleri Şekil 4.8’de olacak biçimde alınmıştır.

Model.2 için Eş varyans varsayımı var/yok kontrolü için Atık değerler ile fit edilmiş model değerleri x ve y ekseninde gösterilmesi işlemi için (ggplot), (aes(x = .fitted, y = .resid)) komutu kullanılmıştır. İşlem sonucunda Artıklar ve Fitted Values ilişkisi grafiği (x= fitted values, y= Artıklar values) Şekil 4.9’da olduğu dağılımda elde edilmiştir.

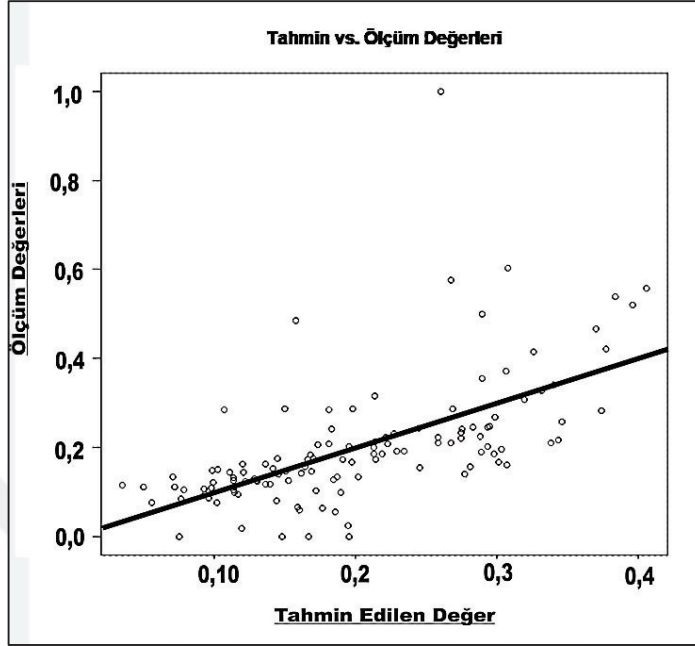


Şekil 4.8. Residuals vs fitted, normal q-q, scale-location, artıklar- leverage grafikleri (a) varyans homojenlik, (b) normal dağılım analizi, (c) artık dağılımı, (d) kriter analizi



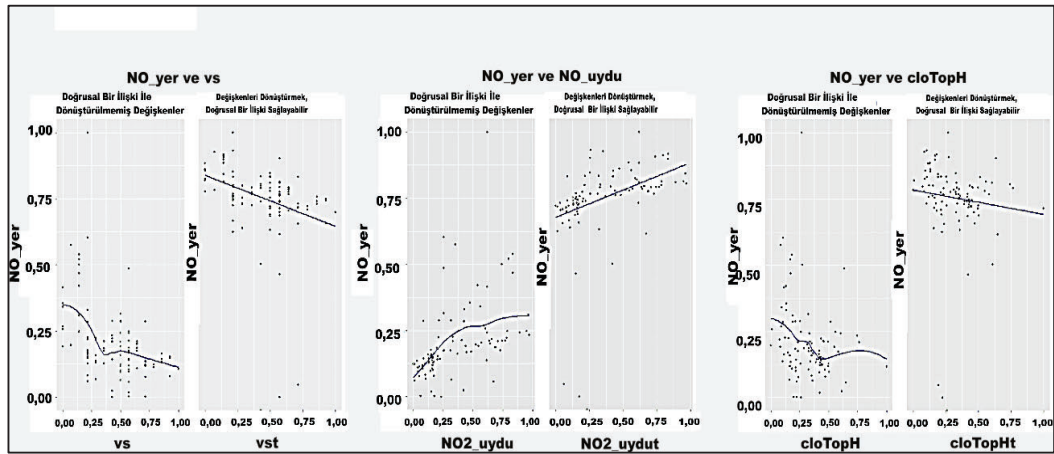
Şekil 4.9. Artıklar ve fitted values ilişkisi grafiği (x= fitted values, y= Artıklar values)

Model.2'in tahmin ettiği NO_2 yer istasyon değeri ile Ölçüm yapılmış NO_2 değerlerinin tahmin doğruluğunu görsel ifade etmek için aşağıdaki Şekil 4.10'da Predicted ve Actual Values grafiği (`predict(.)`) komutu kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil 4.10. Tahmin ve ölçüm değerleri grafiği

Verilerin doğrusal olmayan dönüşümleri ile değişkenlerin korelasyonlarının sağlanması işlemi (ggplot(.)), (scale_y_log10), gridExtra (.) komutları ile logaritmik işlem yapılmıştır. İşlem sonucunda aşağıdaki Şekil4.11'deki Dönüştürülmüş / Dönüştürülmemiş bağımlı değişken NO₂ yersel ölçüm ile bağımsız değişkenler NO₂ uydu bazlı ölçüm, vs, cloToH değişkenlerin doğrusal olmayan ilişkisi grafiği (Non-transformed değişkens with a non-linear relationship) elde edilmiştir.

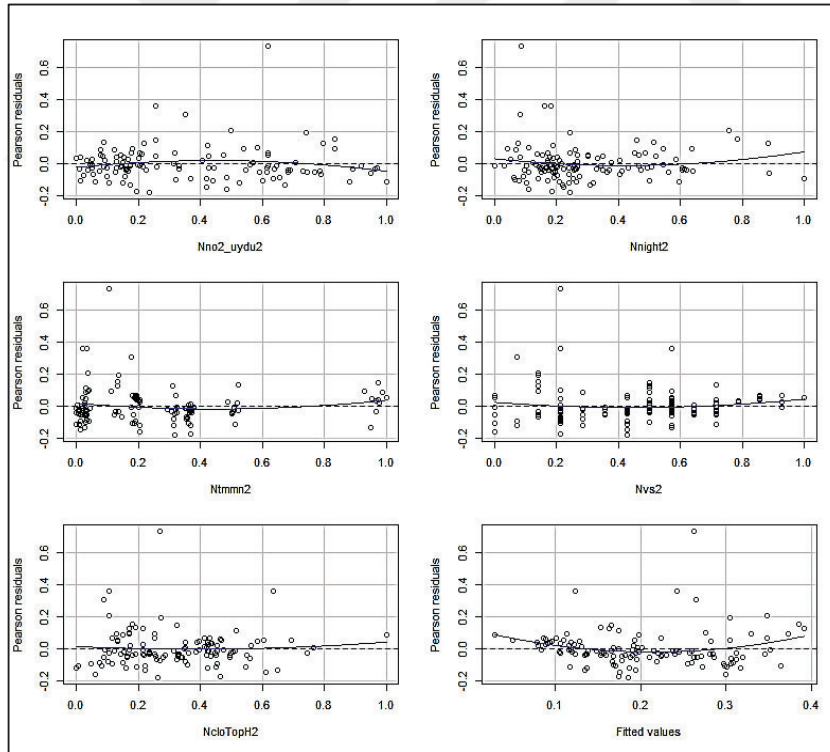


Şekil 4.11. Dönüştürülmüş/Dönüştürülmemiş bağımlı değişken NO₂ yersel ölçüm ile bağımsız değişkenler NO₂ uydu bazlı ölçüm, vs, cloToH değişkenlerin doğrusal olmayan ilişkisi grafiği

Model.2'nin kısmi artık grafiği bağımlı değişken NO₂'nin artık değerleri ile her bir değişkenin değerleri arasında olan ilişkiyi ortaya koymak, verideki uç değer bilgisini almak ve eşvaryanslık durum tespiti için (`residualPlots(.)`) komutu kullanılmıştır. Aşağıdaki Çizelge 4.7'de ve Şekil 4.12'de model.2 değişkenlerinin Pearson artık kontrol grafiği ve sonuçları elde edilmiştir.

Çizelge 4.7. Model.2 değişkenlerinin Pearson artık kontrol sonuçları

	Test stat	Pr(> Test stat)
NO ₂ uydu bazlı. Ölç.	-1.4573	0.14781
night	1.2179	0.22581
tmmn	1.9170	0.05777
vs	1.1126	0.26823
cloTopH	0.5491	0.58401
Tukey test	2.2837	0.02239
Anlam. Düz.: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1		



Şekil 4.12. Model.2 değişkenlerinin pearson artık kontrol grafiği

Model.2'nin model uygunluk doğrulaması için test doğruluğu irdelenmesi, tahmin test işlemleri ve kontrolü *tahminler <- model2 %>% predict(test), rmse(tahminler, test\$NO₂ yersel ölçüm2), summary(model2)\$r.squared* komutları ile RMSE = 0.08783867 ile R Kare = 0.34 sonuçları alınmıştır.

Model2'ye istatistiksel bilgilerinin raporlanması için summary (model2) komutu uygulanmıştır. İşlem sonucu modelin açıklama bilgisi, değişkenlerin modele etkisi, p-değer, değeri ile hipotez geçerlilik bilgisini almamızı sağlayan En düşük, 1.Çeyrek, Medyan, Ortalama, 3.Çeyrek değerleri, Tahmind, Standart Error, t-değer, P-değer, Anlam. Düz., Çoklu R kare, Düzeltilmiş R kare, F-testi, p-değer değerleri elde edilmiştir. Bu değerlerden anlamlı bulunan NO₂ uydu bazlı ölçüm, night, vs, cloTopH ile aşağıdaki model3a kurulmuştur.

Bu işlem $model3a = lm(NO_2 \text{ yersel ölçüm} \sim NO_2 \text{ uydu bazlı ölçüm} + night + vs + cloTopH, \text{Veri=train})$ komutu ile sağlanmıştır. Model.3a'nın aşağıdaki Çizelge 4.8'deki istatistiksel bilgilerinin raporlanması için summary (model3a) komutu uygulanmıştır. İşlem sonucu modelin açıklama bilgisi, Değişkenlerin modele etkisi, p-değer, değeri ile hipotez geçerlilik bilgisini almamızı sağlayan En düşük, 1.Çeyrek, Medyan, Ortalama, 3.Çeyrek değerleri, Tahmind, Standart Error, t-değer, P-değer, Anlam. Düz., Çoklu R kare, Düzeltilmiş R kare, F-testi, p-değer değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 4.8. Model.3a'nın istatistiksel bilgileri

Artıklar:					
	En Düşük	1.Çeyrek	Medyan	3.Çeyrek	Maksimum
	-0.18522	-0.05395	-0.02070	0.04386	0.73620
Katsayılar:					
	Tahmin	Std. Hata	t değeri	Pr(> t)	
(Intercept)	0.21815	0.03370	6.474	2.44e-09	***
NO ₂ uydu b. Ölç.	0.16990	0.04474	3.797	0.000235	***
night	0.09641	0.05839	1.651	0.101406	
vs	-0.13685	0.05454	-2.509	0.013485	*
cloTopH	-0.14307	0.06980	-2.050	0.042684	*
Anlam. Düz.: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					
Artıklar Stad. Hat.: 0.1183 on 115 serbestlik derecesi					
Coklu R kare: 0.3314, Düzeltilmiş R kare: 0.3082					
F-testi: 14.25 on 4 and 115 DF, p-değer: 1.771e-09					

Bu işlem $model3b = lm(NO_2 \text{ yersel ölçüm} \sim NO_2 \text{ uydu bazlı ölçüm} + night + vs + cloTopH + I(NO_2 \text{ uydu bazlı ölçüm}^2) + I(night^2) + I(vs^2) + I(cloTopH^2), \text{Veri=train})$ komutu ile sağlanmıştır. Model.3b'in aşağıdaki Çizelge 4.9'deki istatistiksel bilgilerinin raporlanması için summary (model3b) komutu uygulanmıştır. İşlem sonucu modelin açıklama bilgisi, Değişkenlerin modele etkisi, p-değer değeri ile hipotez geçerlilik bilgisini almamızı sağlayan En düşük, 1.Çeyrek, Medyan, Ortalama, 3.Çeyrek değerleri, Tahmind, Standart Error, t-değer, P-değer, Anlam. Düz., Çoklu R kare, Düzeltilmiş R kare, F-testi, p-değer değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 4.9. Model.3b'nin istatistiksel bilgileri

Artıklar:					
	En Düşük	1.Çeyrek	Medyan	3.Çeyrek	Maksimum
	-0.17057	-0.05266	-0.01604	0.02552	0.70150
Katsayılar:					
	Tahmin	Std. Hata	t değeri	Pr(> t)	
(Intercept)	0.24701	0.06840	3.611	0.000509	***
NO₂ uydu b. ö.	0.36864	0.19733	1.868	0.065115	.
night	-0.08965	0.21291	-0.421	0.674757	
vs	-0.45034	0.20891	-2.156	0.033871	*
cloTopH	-0.01653	0.26767	-0.062	0.950912	
I(NO ₂ uydu b. ö.^2)	-0.21159	0.21307	-0.993	0.323424	
I(night^2)	0.19648	0.24069	0.816	0.416549	
I(vs^2)	0.31252	0.20145	1.551	0.124456	
I(cloTopH^2)	-0.03773	0.29283	-0.129	0.897781	
Anlam. Düz.: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					
Artıklar Stad. Hat.: 0.1247 on 87 serbestlik derecesi					
Çoklu R kare: 0.3592, Düzeltilmiş R kare: 0.3002					
F-testi: 6.095 on 8 and 87 DF, p-değer: 3.22e-06					

Model.3b'nin Çoklu R kare: 0.36, Düzeltilmiş R kare: 0.30 değeri elde edilmesi sonrasında modelin güçlendirilmesi amacıyla değişkenlerin kareleri alınması işlemi ile ağırlık etkisinin artırılması sağlanmıştır.

Bu işlem *model4 = lm(formula = NO₂ yersel ölçüm ~ NO₂ uydu bazlı ölçüm + vs + I(NO₂ uydu bazlı ölçüm^2) + I(vs^2), Veri = ;/ train)* komutu ile sağlanmıştır. Model.4'ün aşağıdaki Çizelge 4.10'daki istatistiksel bilgilerinin raporlanması için *summary(model4)* komutu uygulanmıştır. İşlem sonucu modelin açıklama bilgisi, Değişkenlerin modele etkisi, p-değer değeri ile hipotez geçerlilik bilgisini almamızı sağlayan En Düşük, 1.Çeyrek, Medyan, Ortalama, 3.Çeyrek değerleri, Tahmind, Standart Error, t-değer, P-değer, Anlam. Düz., Çoklu R kare, Düzeltilmiş R kare, F-testi, p-değer değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 4.10. Model.4'ün istatistiksel bilgileri

Artıklar:					
	En Düşük	1.Çeyrek	Medyan	3.Çeyrek	Maksimum
	-0.19056	-0.05804	-0.01683	0.02501	0.69355
Katsayılar					
	Tahmin	Std. Hata	t değeri	Pr(> t)	
(Intercept)	0.24336	0.05572	4.367	3.32e-05	***
NO ₂ uydu bazlı ölçüm	0.35668	0.19453	1.834	0.07000	.
vs	-0.48733	0.17411	-2.799	0.00626	**
I(NO ₂ uydu bazlı ölçüm^2)	-0.17916	0.20764	-0.863	0.39049	
I(vs^2)	0.33665	0.18467	1.823	0.07158	.
Anlam. Düz.: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					
Artıklar Stad. Hat.: 0.1236 on 91 serbestlik derecesi					
Çoklu R kare 0.3422, Düzeltilmiş R kare: 0.3133					
F-testi: 11.84 on 4 and 91 DF, p-değer: 8.761e-08					

Model.4'ün model uygunluk doğrulaması için test doğruluğu irdelenmesi, tahmin test işlemleri ve kontrolü `pred1 <- predict(model4, newVeri = test)`, `rmse <- sqrt(sum((exp(pred1) - test$NO2 yersel ölçüm)^2) / length(test$NO2 yersel ölçüm))`, `c(RMSE = rmse, R2=summary(model4)$r.squared)` komutları ile $RMSE = 1.0589067$ ile $R \text{ Kare} = 0.34$ sonuçları alınmıştır.

Model.4'ün test doğruluğunun irdelenmesi amacıyla bağımlı değişken NO₂ ile test verisi NO₂ değerinin ilişkisinin görsel değerlendirilmesi amacıyla `((par(.), plot(test.))` komutu ile aşağıdaki Şekil 4.13'deki grafik elde edilmiştir.

Bağımlı değişken olan NO₂ yersel ölçümün en uygun değer açıklamasını yapabilecek model araştırması için yukarıda farklı bakış açıları ile ÇDR metot uygulamaları yapılmıştır. Bu metotların dışında “Kullanıcı Tercihli” olan metodun uygulanması yapılmıştır. Bu metot işlem adımları ayrıntılı olarak aşağıda çıktıları ile verilmiştir.

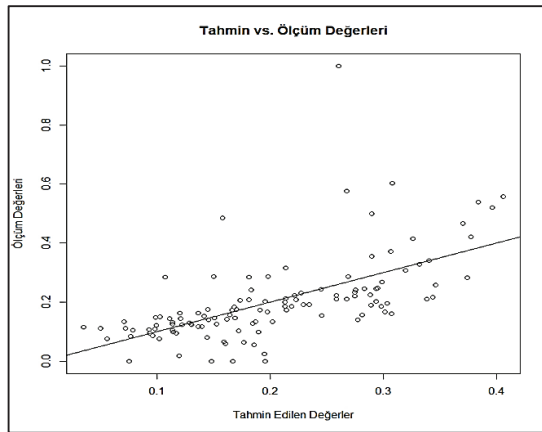
Bağımlı değişken NO₂ yersel ölçüm, geri kalan değişkenlerin ise bağımsız değişken olarak model.5, `model5 <- lm(NO2 yersel ölçüm~., Veri=veri)` komut ile kurulmuştur. Model.1'de kurulan model ile aynı model yapısındadır. Bu model yapısı ile uygun model kontrolü kullanıcı tercih etme şeklinde ele alınmış ve başlangıç model oluşturulmuştur. Oluşturulan model.5 “summary(model5)” komutu ile aşağıdaki Çizelge 4.11'deki Residual bölümünde En düşük, 1.Çeyrek, Medyan, Ortalama, 3.Çeyrek değerleri, Katsayılar bölümünde ise değişkenlerin Tahmin, Std. Hata, t değer, $Pr(>|t|)$ ve * sonuçları elde edilmiştir. $Pr(>|t|)$ değeri 0.05'ten büyük olanlar bir sonraki kuracağımız çoklu doğrusal regresyon formülünden anlamsız olmaları nedeniyle çıkarılmıştır. Bu nedenle bu değişkenler dışındaki model.6'da kullanmış olacağımız değişkenler ve çizelgedeki değerleri koyu renk ile belirgin hale getirilmiştir.

İşlem sonucunda p-değer: $7.08e-09$ olması nedeniyle H₀ hipotezi reddedilir. Bu istatistikteki tesadüfen doğru olma şansının düşüklüğünün tespiti işlemidir. İşlem sonucunda Regresyon değerleri Çoklu R kare: 0.38, Düzeltilmiş R kare: 0.33 olarak bulunmuştur. 0->ilişki yok, 0.01-0.29-> düşük düzey, 0.30-0.70-> orta, 0.71-0.99-> yüksek, 1.00-> mükemmel sınıflandırmasına göre “orta” düzey ilişki tespit edilmiştir.

Çizelge 4.11. “Kullanıcı Tercihli” metodun Residual ve Coefficient değerleri

Artıklar:					
	En Düşük	1.Çeyrek	Medyan	3.Çeyrek	Maksimum
	-0.19497	-0.05311	-0.00724	0.02696	0.7394
Katsayılar					
	Tahmin	Std. Hata	t değeri	Pr(> t)	*
(Intercept)	0.31745	0.05819	5.455	0.0000003	***
NO ₂ uy.b. ölç. *	0.06582	0.06466	1.018	0.31092	
night	0.12736	0.05888	2.163	0.03269	*
tmmn	0.24823	0.14228	1.745	0.08381	.
tmmx	-0.11526	0.17387	-0.663	0.50877	
vap	-0.03868	0.11261	-0.343	0.73189	
vpd	-0,15648	0,19715	-0,794	0.42904	
vs	-0,11714	0.06899	-1.698	0.09231	.
cloTopH	-0.20623	0.07542	-2.734	0.00728	**
Anlam. Düz.: 0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘.’ 1					
Artıklar Stad. Hat.: 0.1162 on 111 serbestlik derecesi					
Çoklu R kare: 0.3774, Düzeltilmiş R kare: 0.3325					
F-testi: 8.409 on 8 and 111 DF, p-değer: 7.08e-09					

RMSE (Kök Ortalama Kare Hatası, Root A.ortalama Squared Error) ve MSE (Ortalama Kare Hatası ya da A.ortalama Squared Error)’lerin hesaplaması işlemleri mse ve rmse komutları ile gerçekleştirilmiştir. Değeri küçük, doğruluk o kadar yüksek bilgisi ışığında değerlendirilmeler yapılmıştır ve çıkarımlar yapılmıştır. Rmse ve mse değerleri bulunmasından sonra Model.5’in elde edilen tahmin ve ölçülen değerlerinin karşılaştırılmasının grafiksel olarak yapılması için `plot( x=predict(model5) ve y= veri2$NO2 yersel ölçüm2 )`, `abline(a=0, b=1)` komutları kullanılarak aşağıdaki Şekil 4.13’de elde edilmiştir. İşlemler sonucunda RMSE: 0.08242493 ve MSE: 0.006793869 olarak bulunmuştur.

**Şekil 4.13.** Model.5’in elde edilen tahmin ve ölçülen değerlerinin karşılaştırılma grafiği

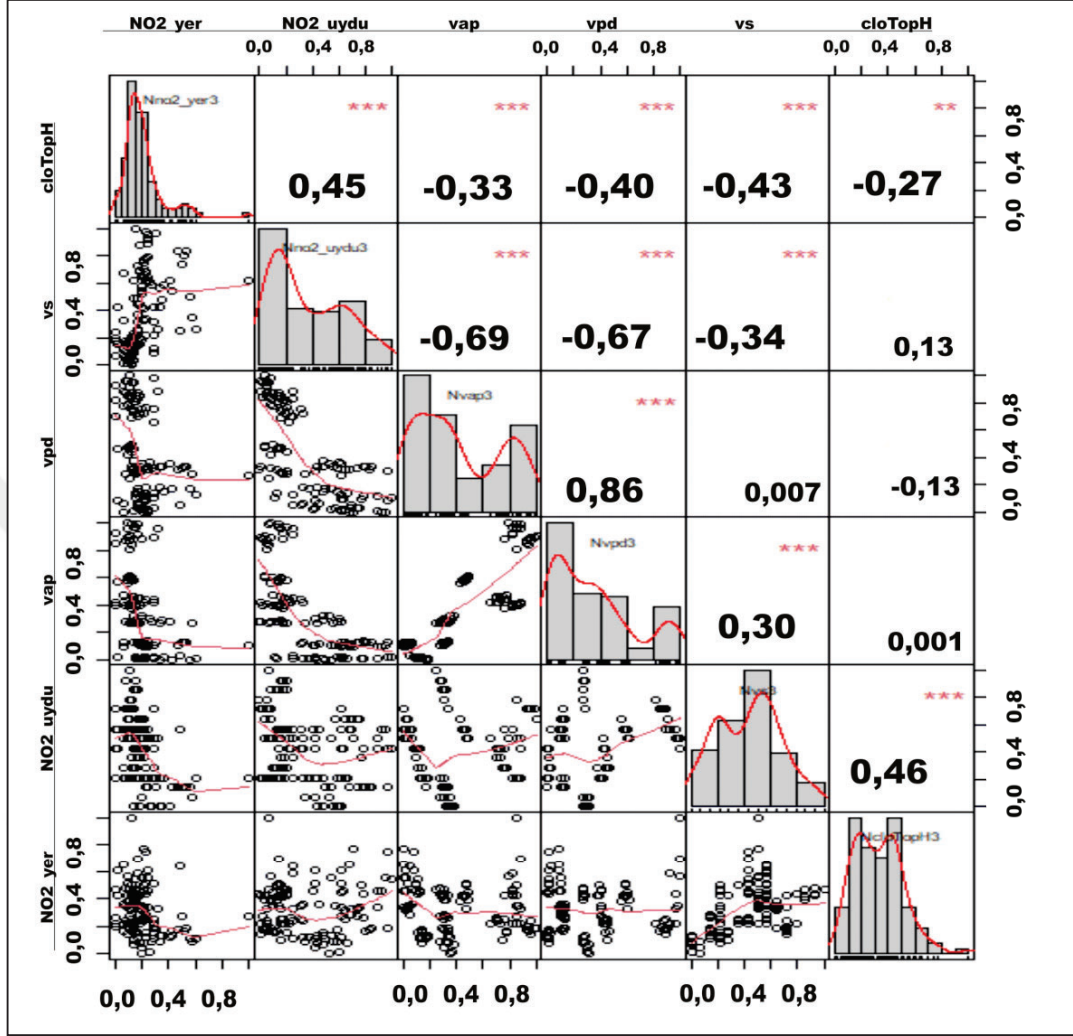
4.1.1.1. Model.5'in Anova testi işlemi (Anlamlılık testi, anova(model))

Model.5'e ANOVA analiz metodu anova(model) komutu ile uygulanmıştır. Bu işlem ile modelin anlamlılığı ölçülmesi, R^2 değeri ile de modelimizin bağımsız değişkenleri NO₂ uydu bazlı ölçüm, vap, vpd, night, tmmn, vs, cloTopH ile bağımlı değişken NO₂ yersel ölçüm değişkenimizi açıklama değerini bulma işlemi gerçekleştirilmiştir. İşlem sonucunda NO₂ uydu bazlı ölçüm, vap, vpd, vs, cloTopH değişkenleri Anlam. Düz. değerleri elde edilmiştir. Aşağıdaki Çizelge 4.12'deki NO₂ uydu bazlı ölçüm, vap, vpd, vs, cloTopH bağımsız değişkenleri anlamlı katkı sunan değişkenler olarak belirlenmesi yapılmıştır.

Çizelge 4.12. Bağımsız değişkenlerin anlamlı katkı sunan değişkenler olarak belirlenmesi

	Df	Sum Sq	A.ortalama Sq	F değeri	Pr(>F)	
NO2 uydu bazlı ölçüm	1	0.49100	0.49100	363.456	2.208e-08	***
night	1	0.02227	0.02227	16.488	0.2017982	
tmmn	1	0.01267	0.01267	0.9381	0.3348760	
tmmx	1	0.01972	0.01972	14.596	0.2295597	
vap	1	0.04351	0.04351	32.211	0.0754162	.
vpd	1	0.05366	0.05366	39.724	0.0487061	*
vs	1	0.16492	0.16492	122.083	0.0006845	***
cloTopH	1	0.10100	0.10100	74.766	0.0072771	**
Artıklar	1	1	1	149.951	0.01351	

Anova işlemi sonucunda anlamlı bulunan NO₂ uydu bazlı ölçüm, vap, vpd, vs, cloTopH değişkenleri bağımsız değişkenler, NO₂ yersel ölçüm ise bağımlı değişken olarak model.6 *model6 <- lm(NO₂ yersel ölçüm ~ NO₂ uydu bazlı ölçüm + vap + vpd + Nvs + cloTopH, Veri = veri)* komutu ile oluşturulmuştur. Test ve train seti oluşturulma işlemi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca Değişkenlerin birbiri ile olan ilişkilerinin grafiksel gösterimi chart.Correlation komutu ile gerçekleştirilmiş ve Şekil 4.14'de değişkenlerin kesişimlerinde görüldüğü NO₂_yer ile en yüksek ilişkisi olan 0.45 ile NO₂_yer, 0.33 ile vap, 0.40 ile vpd ve 0.43 ile Nvs değişkenleri seçilmiştir.



Şekil 4.14. Değişkenlerin birbiri ile olan ilişkilerinin gösterimi (Korelasyon matrisi)

Bağımlı değişken NO₂ yersel ölçüm ile en düşük korelasyon olan cloTopH'in çıkarılması ile nispeten yüksek korelasyonlu bağımsız değişkenlerden NO₂ uydu bazlı ölçüm, vap, vpd, vs ile model.7'nin kurulması `model7 <- lm(NO2 yersel ölçüm ~ NO2 uydu bazlı ölçüm + vap + vpd + vs, Veri = training)` komutu ile gerçekleştirilmiştir.

Modelin eğitim hatası bulunması amacıyla defaultSummary (Veri.frame(obs: , pred:) komutu ile training seti içindeki NO₂ yersel ölçüm verisi ölçüm değerleri obs değişkenine, modelin fit edilmesi ile elde edilen veriler ise pred değişkenine atanması gerçekleştirilmiştir. Eğitim hatasının hesaplanması için defaultsummary () fonksiyonu ile aşağıdaki komutlar kullanılmış ve sağ taraflarındaki RMSE, R Kare ve MAE değerleri elde edilmiştir. Bulunan sonuçlar aşağıdaki Çizelge 4.13'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.13. RMSE, R Kare ve MAE değerleri

<i>obs = training\$NO₂ yersel ölçüm, pred = model7\$fitted.values) →</i>	RMSE	Rsquared	MAE
	0.11801751	0.30000294	0.07643839
<i>obs = test_y, pred = predict(model7, test_x) →</i>	RMSE	Rsquared	MAE
	0.12163879	0.33328389	0.09095854

Modelin eğitim hatası bulunması amacıyla Cross Validation metodu kullanılmıştır. İşlem sonucunda oluşturulan model summary (model_val7) komutu ile aşağıdaki Çizelge 4.14'deki Residual bölümünde En düşük, 1.Çeyrek, Medyan, Ortalama, 3.Çeyrek değerleri, Katsayılar bölümünde ise değişkenlerin Tahmin, Std. Hata, t değeri, Pr(>|t|) ve * sonuçları elde edilmiştir. İşlem sonucunda p-değer: 2.939e-06 olması nedeniyle H₀ hipotezi reddedilir. Bu istatistikteki tesadüfen doğru olma şansının düşüklüğünün tespiti işlemidir. İşlem sonucunda Regresyon değerleri Çoklu R kare: 0.3, Düzeltilmiş R kare: 0.27 olarak bulunmuştur. 0->ilişki yok, 0.01-0.29-> düşük düzey, 0.30-0.70-> orta, 0.71-0.99-> yüksek, 1.00-> mükemmel sınıflandırmasına göre “orta” düzey ilişki tespit edilmiştir.

Çizelge 4.14. Cross Validation metodu kullanılarak oluşturulan Residual ve Katsayılar değişkenleri

Artıklar:					
	En Düşük	1.Çeyrek	Medyan	3.Çeyrek	Maksimum
	-0.19076	-0.06230	-0.01777	0.03282	0.70754
Katsayılar					
	Tahmin	Std.Error	t değeri	Pr(> t)	
(Intercept)	0.281610	0.066000	4.267	4.89e-05	***
NO₂ u. b. ölç.	0.116092	0.066805	1.738	0.0857	.
vap	-0.002353	0.101412	-0.023	0.9815	
vpd	-0.079950	0.097660	-0.819	0.4151	
vs	-0.143516	0.073446	-1.954	0.0538	.
cloTopH	-0.080618	0.084321	-0.956	0.3416	
Anlam. Düz.: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					
Artıklar Stad. Hat.: 0,1213 on 90 serbestlik derecesi					
Çoklu R kare: 0.307, Düzeltilmiş R kare: 0.2685					

4.1.2 . Aşamalı Regresyon (Stepwise Regresyon)

Çoklu doğrusal regresyon modelinde bağımsız değişkenlerin her biri farklı miktarlarda katkı sağlamaktadır. Bazı değişkenler önem arz etmeyecek derecede katkı sağladığının tespit edilmesi ve düşük katkı sağlayan değişkeninin çıkarılması ile az sayıda değişken kullanımı ana hedeflerdendir. Değişken azaltma uygulaması yani değişken çıkarılması işlemine “değişken seçimi” denilmektedir (Alpar R, 2010). Bu amaçlı olan Stepwise (aşamalı regresyon) yöntemi, backward elimination (geriye doğru çıkarma, forward selection (ileriye doğru seçim) olacak şekilde üç adettir (Pagano M, 1993; Dawson B, 2001).

Yukarıda ifade edilen nedenler referans alınarak farklı regresyon metotları ele alınması amacıyla çalışmanın bu aşamasından sonra sıklıkla kullanılan “Aşamalı Regresyon Analizi” yöntemi (Step-wise) metodu kullanılmıştır. Metodun üç farklı alt tipi bulunmaktadır. İlki İleri Doğru Seçme (Forward selection Regression) modelden gereksiz değişkenleri çıkarma, ikincisi Geriye Doğru Eleme (Backward elimination Regression) çıkarılan değişkenleri tekrar modele eklemek ve son tür ise birinci ve ikinci işlemin bir arada yapılması şeklinde olan Çift Yönlü Seçme (Bidirectional elimination Regression) metodudur. Bu modelin üç tip uygulaması sonucu elde edilen bulgular açıklamaları ile aşağıda gösterilmiştir.

- İleri Doğru Seçme (Forward selection Regression)
- Geriye Doğru Eleme (Backward elimination Regression)
- Çift Yönlü Seçme (Bidirectional elimination Regression)

İlk işlem olarak Tüm değişkenlerin kullanıldığı model (**model8 <- lm(no_yer ~., Veri = veri)**), komutu ile oluşturulmuştur. “ols_step_all_possible (model)” komutu ile Index, N, Tahminci, Adj. Square değerleri elde edilmiştir. Buradaki Square Adj (R^2) değerleri bize her bir değişkenin modele katkı ağırlığını koymaktadır. 255 adet elde edilen kombinasyonun ilk beş ve son beş adet birleşim listelemesi yapılmıştır. Adj. R-Square yani düzeltilmiş R^2 değeri ele alınmıştır. Modele her bir değişken eklendiğinde eklenen değişken katkısı az bile olsa R^2 değeri değişme eğiliminde olduğu ancak Düzeltilmiş R^2 değeri etkilenmediği için Düzeltilmiş R^2 değeri ölçüt kriteri olarak ele alınmıştır. Değerler büyükten küçüğe sıralı olacak şekilde aşağıdaki Çizelge 4.15’de alınmıştır. NO₂ uydu bazlı ölçüm değişkeninin en büyük değişken tespiti yapılmıştır.

Çizelge 4.15. Düzeltilmiş R2 değerleri

Tahminci	a.adj
NO ₂ uydu bazlı ölçüm	0.19713203
vs	0.18020094
vpd	0.15355572
tmmx	0.14571524
vap	0.09885486
tmmn	0.09358039
cloTopH	0.06598491
night	0.04964022

İlk yöntem olan İleri yönlü uygulaması, **ols_step_forward_aic (model8)** komutu ile gerçekleştirilmiştir. İşlem sonucunda aşağıdaki Çizelge 4.16’da aşağıdaki sonuçlar alınmıştır. Bu metot kullanımında modele en fazla katkı veren değişken ilk olarak işleme girer ve ardından diğer değişkenler girer. İşlem sonucu tmmn, night, tmmx, cloTopH2, Nvs, NO₂ uydu bazlı ölçüm seçilir ise Adj. değeri ileri Doğru Seçme metodu ile elde edilmektedir. Son değer sonuç modelin Düzeltilmiş R kare = 0.34’tür.

Çizelge 4.16. İleri yönlü uygulaması ile elde edilen sonuçlar

Selection Summary					
Değişken	AIC	Sum Sq	RSS	R-Sq	Adj. R-Sq
NO ₂ uydu bazlı	-149.845	0.491	1.917	0.20388	0.19713
vs	-162.069	0.705	1.703	0.29287	0.28078
cloTopH	-163.986	0.760	1.648	0.31558	0.29788
tmmx	-165.192	0.803	1.605	0.33362	0.31044
night	-167.344	0.858	1.550	0.35628	0.32805
tmmn	-168.628	0.900	1.508	0.37366	0.34040

İkinci yöntem olan Geri Yönlü uygulaması, `ols_step_backward_aic` (model8) komutu ile gerçekleştirilmiştir. İşlem sonucunda aşağıdaki Çizelge 4.17'deki sonuçlar alınmıştır. Bu metot değişkenlerin tamamı olduğu modelden katkısı en düşük olan değişken çıkarılarak işlem `ols_step_backward_aic` (model8) komutu ile yapılmıştır. Full Modelden night, tmmn, tmmx, vs ve cloTopH değerlerinin çıkarılmasının ardından vap, vpd, NO₂ uydu bazlı ölçüm bağımsız değişkenleri elde edilmiştir. Son değer sonuç modelin Düzeltilmiş R kare = 0.34'dir.

Çizelge 4.17. Geri yönlü uygulaması ile elde edilen sonuçlar

Geri Eleme Özet					
Değişken	AIC	RSS	Sum Sq	R-Sq	Adj. R-Sq
Full Model	-165.337	1.500	0.909	0.37735	0.33248
vap	-167.210	1.501	0.907	0.37669	0.33773
vpd	-168.628	1.508	0.900	0.37366	0.34040
NO ₂ uy. b. ö.	-169.560	1.522	0.886	0.36806	0.34034

Üçüncü ve son yöntem olan Çift Yönlü uygulaması, `ols_step_both_aic` (model8) komutu ile gerçekleştirilmiştir. İşlem sonucunda aşağıdaki Çizelge 4.18'deki sonuçlar alınmıştır. Son metot olan çift yönlü seçme yöntemi ilk iki adet stepwise yöntemi aşamalı olarak önce ileri sonra geri çekme metotlarının sırasıyla yapılması işlemi gerçekleştiren `ols_step_both_aic` (model8) komutu ile işlem gerçekleştirilmiştir. Düzeltilmiş R kare = 0.34'tür

Çizelge 4.18. Çift Yönlü uygulaması ile elde edilen sonuçlar

Stepwise Summary						
Değişken	Method	AIC	RSS	Sum Sq	R-Sq	Adj. R-Sq
NO ₂ u. b. ö.	addition	-149.845	1.917	0.491	0.20388	0.19713
vs	addition	-162.069	1.703	0.705	0.29287	0.28078
cloTopH	addition	-163.986	1.648	0.760	0.31558	0.29788
tmmx	addition	-165.192	1.605	0.803	0.33362	0.31044
night	addition	-167.344	1.550	0.858	0.35628	0.32805
NO ₂ u. b. ö.	removal	-167.791	1.570	0.838	0.34790	0.32522
tmmn	addition	-169.560	1.522	0.886	0.36806	0.34034
NO ₂ u. b. ö. : Uydu bazlı NO ₂ ölçümü						

4.1.3 .ÇDR işlemleri genel değerlendirilmesi

Çalışmanın ilk regresyon bölümü olan ÇDR’de 8 adet farklı metot ile model çalışması yapılmıştır. Bu farklı modellerin oluşturulmalarının açıklamaları ve model çıktıları aşağıdaki Çizelge 4.19’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.19. ÇDR işlemleri özeti

ÇDR İşlemleri Özet Tablosu				
Model Ad	Model	p-değer	Mul. R2	Adj. R2
Model1	Model tüm değişkenlerden kurulmuştur.			
	$lm(NO_2 \text{ yersel ölçüm} \sim ., Veri = veri)$	7.08e-09	0.3774	0.3325
Model2				
	$lm(NO_2 \text{ yersel ölçüm} \sim NO_2 \text{ uydu bazlı ölçüm} + night + tmmn + vs + cloTopH, Veri = veri)$	5.514e-09	0.3348	0.3056
Model3a				
	$lm(NO_2 \text{ yersel ölçüm} \sim NO_2 \text{ uydu bazlı ölçüm} + night + vs + cloTopH, Veri=train)$	1.771e-09	0.3314	0.3082
Model3b				
	model3b = $lm(NO_2 \text{ yersel ölçüm} \sim NO_2 \text{ uydu bazlı ölçüm} + night + Nvs2 + cloTopH + I(NO_2 \text{ uydu bazlı ölçüm}^2) + I(night^2) + I(vs^2) + I(cloTopH^2), Veri=train)$	p-değer: 3.22e-06	0.3592	0.3002
Model4				
	$lm(formula = NO_2 \text{ yersel ölçüm} \sim NO_2 \text{ uydu bazlı ölçüm} + vs + I(NO_2 \text{ uydu bazlı ölçüm}^2) + I(vs^2), Veri = train)$	8.761e-08	0.3422	0.3133
Model5	Model tüm değişkenlerden kurulmuştur. Model1 ile aynı yapıdadır.			
	$lm(NO_2 \text{ yersel ölçüm} \sim ., Veri=veri)$	7.08e-09	0.3774	0.3325
Model6				
	$lm(NO_2 \text{ yersel ölçüm} \sim NO_2 \text{ uydu bazlı ölçüm} + vap + vpd + vs, cloTopH, Veri = veri)$			
Model7				
	$lm(NO_2 \text{ yersel ölçüm} \sim NO_2 \text{ uydu bazlı ölçüm} + Nvap + vpd + vs, Veri = training)$	2.939e-06	0.307	0.2685
Model8				
Step.İleri			0.33248	
Step.Geri			0.34034	
Step.ÇiftY.			0.34034	

ÇDR İşlemleri Özet Tablosu’da görüldüğü Multivalu R²’ye göre model1 en uygun model görülmüştür. Değişken sayısı en yüksek olması bu yüksek değeri ortaya koymuştur. Bu nedenle değişken artışı ile etkilenmeyen değişken ekleme ve çıkarma ile bulunan Adjusted R2’ye bakıldığında Stepwise Geri ve Çift Yönlü yöntemi 0.34 değeri ile en yüksek değişken metodu olarak bulunmuştur. Bu bulgunun yanı sıra genel de literatürde etkin bağımsız değişken olarak bilinen rüzgar (vs) ve bizim çalışmamızda ana bağımsız değişken olan NO₂ uydu görüntüsü (NO₂ uydu bazlı ölçüm) ikilisi ile kurulmuş olan model.4 bu model çalışmalar arasında dikkat çekici bir değer olan 0.31 olarak bulunmuştur. Bu bize iki önemli bağımsız değişken olduğunu ortaya sayısal bulgu olarak koymuştur.

4.1.4 Test işlemleri

Yukarıda ÇDR metotlarının farklı yöntemler ile veri setimizin uygun model arayışı yapılmıştır. Yapılan işlemler sonucunda modeller ve açıklanma kapasiteleri elde edilmiştir. Bu aşamadan sonra tüm değişkenlerin ele alındığı ham model üzerinde değişken anlamlılık etki oranlarının irdelenmesi, model varyans irdelenmesi, bağımlı değişkeni NO₂'nin dağılım irdelenmesi, modelin normallik testi, modelin varyans homojen durum testi, modelin çoklu doğrusal bağlantı problem araştırılması işlemleri yapılmış ve sonrasında çıkan sonuçlar doğrultusunda diğer aşamalara geçilmesine karar verilmiştir.

4.1.4.1. Model değişken anlamlılık testi

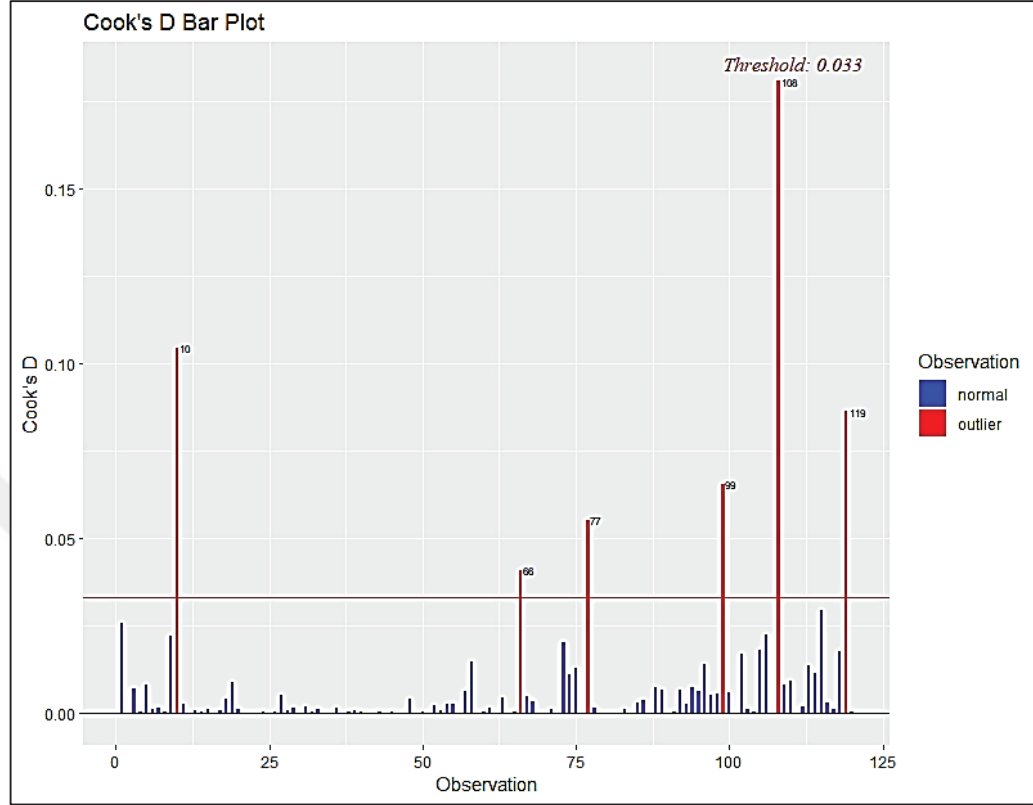
İlk olarak modelin tanımlama yeteneğini artırmak amacı ile modele katkı sağlayan değişkenlerin anlamlılık düzeylerini belirlemek için (confint())komutu kullanılmıştır. “0” değeri aralık içinde olan değişkenin anlamsızlığının tespiti yapılmış ve anlamsız bulunan değişkenler ileride kurulacak modelden çıkarılacak değişkenler tespit edilmiştir. Aşağıdaki Çizelge 4.20’de night, cloTopH değişkenleri “anlamlı” iken NO₂ uydu bazlı ölçüm, tmmn, tmmx, Nvap, vpd2, vs değişkenleri “anlamsız” olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.20. Modelin anlamlı ve anlamsız değişkenleri

	2.5 %	97.5 %
(Intercept)	0.20214040	0.43275499
NO ₂ u. b. ö.	-0.06230833	0.19394763
night	0.01068121	0.24403727
tmmn	-0.03370707	0.53016482
tmmx	-0.45979959	0.22928110
vap	-0.26182124	0.18446426
vpd	-0.54714031	0.23417674
vs	-0.25383792	0.01956178
cloTopH	-0.35568579	-0.05677637

4.1.4.2. Varyans homojenliği

Model varsayım irdelenmesi işlemlerinden, varyans homojenliği irdelemesi, artıkların normal dağılım tespiti, standartlaştırılmış artık değerlerin tespiti ve bu değerlerin aykırı gözlem verilerinin çevresinde olma veya olmama durum bilgileri ((par.), plot_ols_plot_cooksd_bar (lm_model9) komutları ile elde edilmiştir. Artık bilgisi model bilgilerinden önemli bilgi içerdiği ve model doğruluğuna etkisi nedeniyle irdeleme bölümünde elde edilmiştir. Aşağıdaki Şekil 4.15’den yararlanarak 10, 66, 77, 99, 108, 119 numaralı nokta gözlemlerinin aykırı gözlem tespiti yapılmıştır.



Şekil 4.15. Artık bilgisi

4.1.4.3. Modelin normallik kontrolü (ols_test_normality(lm_model9))

Modelin Normallik kontrolü (ols_test_normality (model) komutu ile yapılmış ve Kolmogorov-Smirnov testi uygulanmıştır. Normal olma veya olmama durumunu belirleyen P-değer değeri elde edilmiştir. Çalışmada veri miktarı az olması nedeniyle ki-kare sınaması uygulanamamış ve Kolmogorov-Smirnov testi uygulanmıştır. p-değer değeri(0.0023, Kolmogorov-Smirnov) sınır değeri olan 0.05'den küçük olması ile değişen varyansın var olduğunu söylenebileceği kontrolü uygulanmıştır. Test değerleri aşağıdaki Çizelge 4.21'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.21. Modelin Normallik Kontrolü Test Değerleri

Test	Statistic	p-değer
Shapiro_Wilk	0.7885	0.0000
Kolmogorov-Smirnov	0.1679	0.0023
Cramer_von Mises	33.5186	0.0000
Anderson_Darling	4.6644	0.0000

4.1.4.4. Modelin varyans homojen durumu (ols_test_breusch_pagan (Model))

Değişen varyans durumu modellemede istenmemektedir. Değişen varyansın olması göz ardı edilen değişken varlığının işaretçisidir. Artıkların eşit olmayacak şekilde dağılması durumuna değişken varyans denilmektedir. (ols_test_breusch_pagan (Model)) komutu uygulanarak çıkan sonucun p-değer değeri (8.159298e-05) sınır değeri olan 0.05'ten küçük olması ile değişen varyansın var olduğunu tespiti yapılmıştır. Sonuçlar, Çizelge 4.22 ve Çizelge 4.23'de aşağıda olacak şekilde gösterilmiştir.

Çizelge 4.22. Tolerans ve varyans katkı faktörü

Değişkens	Tolerance	VIF
1 NO ₂ uydu b. ö.	2 0.35284714	2.834088
2 night	0.83848120	1.192633
3 tmmn	0.07940399	12.593825
4 tmmx	0.03426063	29.188020
5 vap	0.08693830	11.502411
6 vpd	0.03142990	31.816833
7 vs	0.40560573	2.465448
8 cloTopH	0.62627383	1.596746

Çizelge 4.23. Farklı Varyans için Breusch Pagan Testi

Ho -> the variance is constant	
Ha -> the variance is not constant	
Veri	
Response -> NO ₂ yersel ölçüm	
Değişkens -> fitted values of NO ₂ yersel ölçüm	
Test Summary	
DF	-> 1
Chi2	-> 15.52102
Prob > Chi2	-> 8.159298e-05

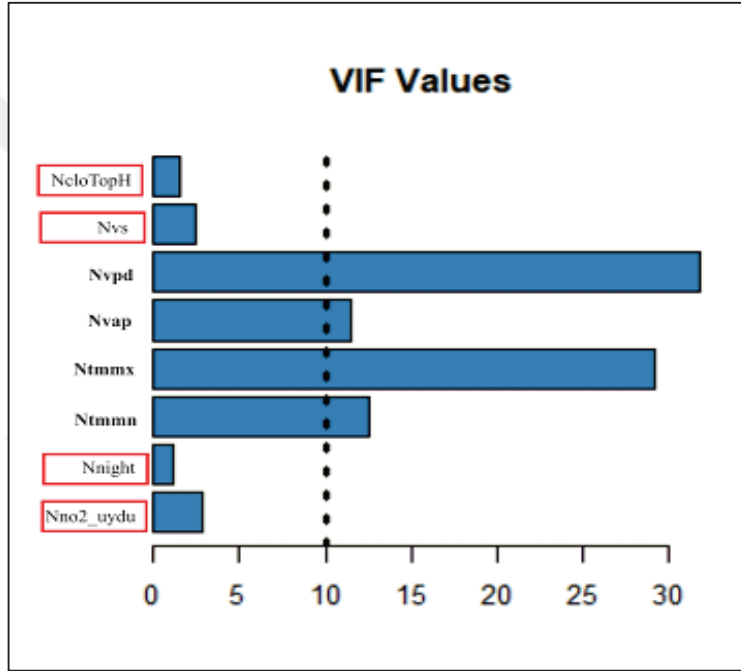
Önceki işlemlerdeki “Modelin Varyans Homojen Durum Testi (ols_test_breusch_pagan (Model))” bölümünde p-değer değeri (8.159298e-05) sınır değeri olan 0.05'den küçük olması ile değişen varyansın var olduğu tespiti yapılmıştır. Bu çıkarımlar doğrultusunda diğer bir metot olan TBR Regresyon model uygulaması yapılması kararı alınmıştır.

4.1.4.5. Çoklu doğrusal bağlantı problem araştırılması (Multicollinearity), (ols_coll_diag(model))

Bağımsız değişkenler arasında yüksek korelasyon varlığı ile çoklu doğrusal bağlantı problemi oluşmaktadır. Bu problemin varlığının kontrolü için Varyans Büyütme Kriteri (Variance Inflation Factors, VIF) VIF değeri incelemesi yapılmıştır. İşlem (ols_coll_diag(model)) komutu ile gerçekleştirilmiştir. VIF değeri 10'dan küçük olması beklenmektedir. Bu bilgi doğrultusunda çıkarımlar elde edilmiştir. NO₂ uydu bazlı ölçüm, night, vsclTopH değişkenleri uygun katman olduğu tespiti VIF değerine göre tespit edilmiştir. VIF sonuçları aşağıdaki Çizelge 4.24 ve Şekil 4.16'da ile gösterilmiştir.

Çizelge 4.24. VIF Sayısal Değerleri

Değişkens	Tolerance	VIF
NO ₂ uydu	2 0.352847	2.834088
night	0.83848120	1.192633
tmnn	0.07940399	12.593825
tmnx	0.03426063	29.188020
vap	0.08693830	11.502411
vpd	0.03142990	31.816833
vs	0.40560573	2.465448
cloTopH	0.62627383	1.596746



Şekil 4.16. VIF sonuçları

Bu VIF sonuçları doğrultusunda NO₂ uydu bazlı ölçüm, night, vs, cloTopH değişkenleri ile model3a önceki işlemlerde kurulmuştur ve sonuçları alınmıştır. Bu çoklu bağlantı sorun varlığını göstermektedir. Ayrıca (chart.Correlation (.)) şeklinde de görüldüğü üzere 0.88, 0.84, 0.95 gibi yüksek oranda ikili korelasyon varlığı tespiti yapılmıştır.

Önceki işlemlerdeki “Modelin Varyans Homojen Durum Testi (ols_test_breusch_pagan (Model))” bölümünde p-değer, değeri (8.159298e-05) sınır değeri olan 0.05’den küçük olması ile değişen varyansın var olduğu tespiti yapılmıştır. Bu çıkarımlar doğrultusunda diğer bir metot olan TBR Regresyon model uygulaması yapılması kararı alınmıştır.

4.2. Temel Bileşen Regresyonu (TBR,Principal Component Analysis, PCR)

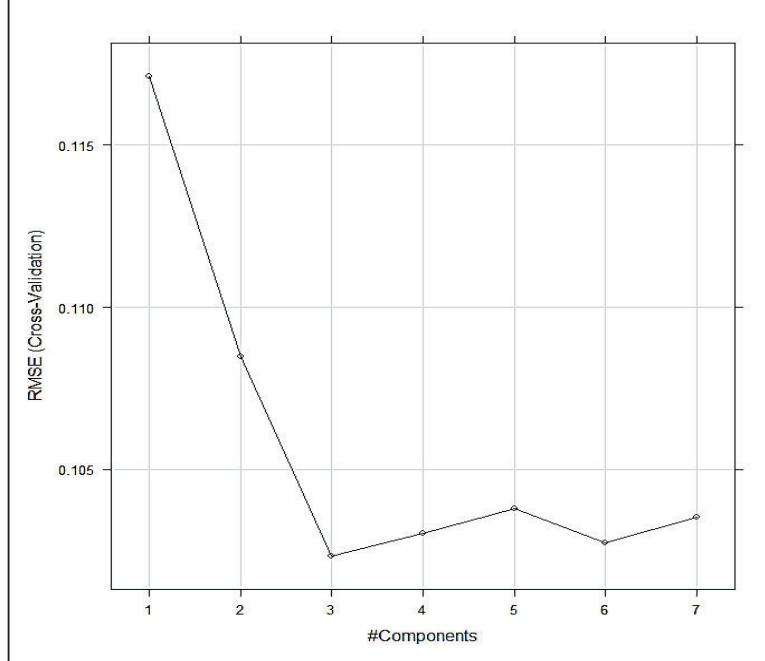
4.2.1. TBR İşlemleri

TBAR(TBR) Temel Bileşen Regresyonu, tahmin değişkenlerinin dönüştürülmesi bir nevi özetleme işlemidir. Dönüşüm tahmin değişkenlerimizi, orijinal verilerimizin doğrusal bir kombinasyonu olan temel bileşenler (PC) olarak tanımlanan yeni değişkenlere özetleme işlemidir. Bu özetleme işlemi bu bölümde yapılmıştır.

Üretilen temel bileşenler sonrasında doğrusal regresyon modelimizin oluşumunda kullanılmıştır. Oluşturmuş olduğumuz modelimize dâhil ettiğimiz ana bileşenlerin sayısı çapraz doğrulama (CV) ile yapılmıştır. Bu işlem ile veri setimizdeki çoklu bağlantı sorunu önüne geçilmiştir.

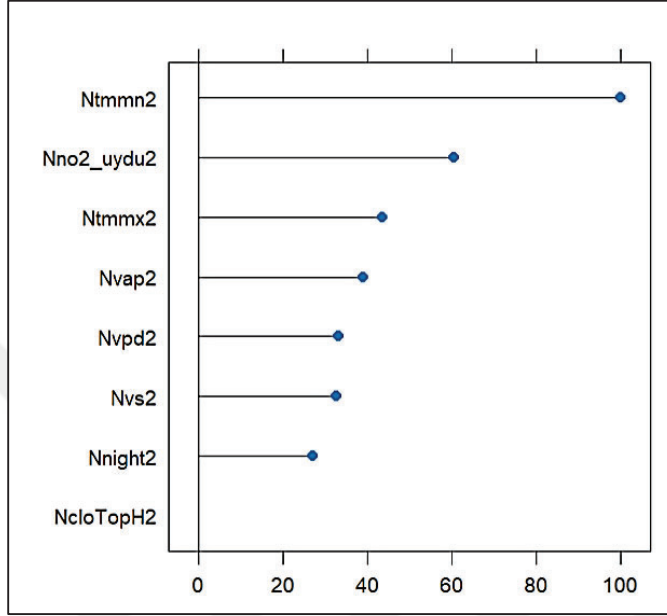
İlk işlem olarak veri normalizasyon işlemi, veri setinin tanıtılması ve sonrasında model performans işlemlerinde kullanılacak olan eğitim (train) ve test (test) setlerinin %20 ile %80 olacak şekilde oluşturulmuştur.

Aşağıdaki Şekil 4.17’de bileşenler, bileşenlerin RMSE değerlerini gösteren grafik ile modelin bileşenlerinin doğruluk ölçüm değeri sayısal ve grafik olarak gösterilmiştir. Modelde kullanılan ana bileşenlerin sayısına göre modelin yapmış olduğu tahminin RMSE hatasını vermiştir. Modelin analiz sonucunda Üç (3 temel bileşen, ncomp=3) seçilmiş ve en düşük RMSE olduğu tespiti yapılmıştır.



Şekil 4.17. Bileşenlerin RMSE değerlerini gösteren grafik

Modelin değişkenlerinin modele katkı etkisinin daha iyi anlaşılması için aşağıdaki şekil 4.18’deki VIF grafiği elde edilmiştir. TMmn ve NO₂ uydu bazlı ölçüm verilerinin modele katkısının büyük oranda olduğu tespiti yapılmıştır.



şekil 4.18. VIF grafiği

Model bilgilerinin elde edilmesi amacıyla “summary (model\$finalModel)” fonksiyonu ile aşağıdaki Çizelge 4.25’de elde edilmiştir. Değişiminin %86.63’nü 3 ana bileşen (ncomp=3) ile açıklandığı bilgi elde edilmiştir. Ncomp=3 ile sonuç değişkenin bilgisinin %37.70’ni tespit ettiği bilgisi elde edilmiştir. Çapraz doğrulama işlemi sonuç olarak ile ncomp=3 ile tahmin hatası (RMSE) en az düzeyde, tahmin ediciler ile sonuç değişkendeki bilgilerin yeterli miktarda değişimi açıklamış ve en uygun PC sayısını elde etmiştir. Elde edilen bilgiler Çizelge 4.25’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.25. “summary (model\$finalModel)” fonksiyonu ile elde edilen veriler

summary(model\$finalModel)			
Veri: X dimension: 96 8 ; Y dimension: 96 1			
Fit method: svdpc			
Belirlenen Bileşenlerin Sayısı: 3			
TRAINING: açıklanan % varyans			
	1 comps	2 comps	3 comps
X	55.95	73.80	86.63
.outcome	19.95	32.33	37.70
Model : Principal Component Analysis			
96 Örnek, 8 Tahminci, Ön İşleme Yok			
Yeniden Örnekleme: Çapraz Doğrulandı (10 fold) Örnek boyutlarının özeti: 86, 85, 87, 87, 87, 87, ... sonuçları ayarlama parametreleri arasında yeniden örnekleme			
ncomp	RMSE	R Kare	MAE
1	0.1170999	0.2860915	0.08203358
2	0.1084753	0.3882731	0.07638631
3	0.1023481	0.4768245	0.07369224
4	0.1030383	0.4681489	0.07431500
5	0.1038118	0.4753344	0.07488022
6	0.1027457	0.4921943	0.07347713
7	0.1035365	0.4825695	0.07253177
En küçük değeri kullanarak en uygun modeli seçmek için RMSE kullanıldı. Model için kullanılan son değer ncomp= 3.			

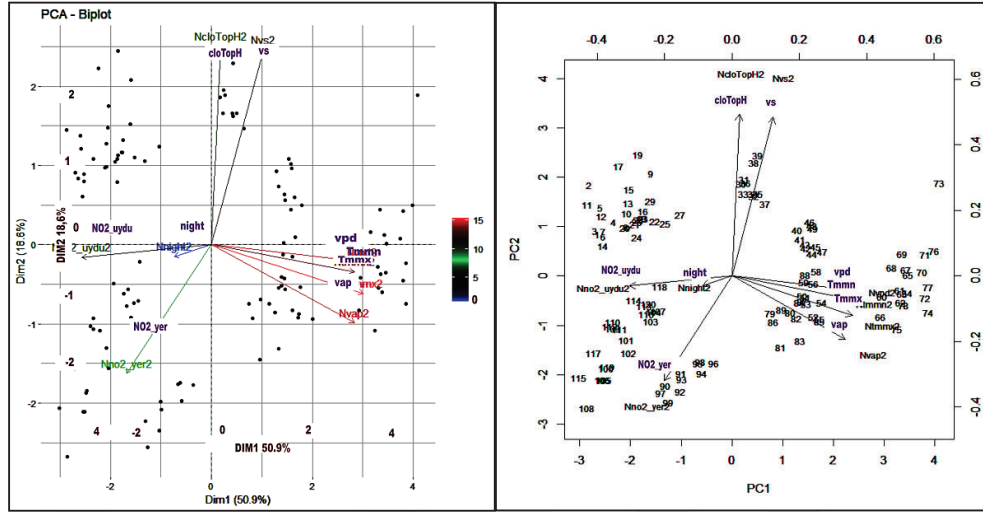
Model performansının elde edilmesi işlemi yapılmış ve aşağıdaki Çizelge 4.26’de RMSE ve R Kare değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 4.26. RMSE ve R Kare değerleri

Tahminler		
Model performans metrikleri		
	RMSE	R Kare
1	0.1284211	0.1982699

Modelin test performansı değerlendirme işlemlerinden “prediction” değişkeni üretilerek bu işlem ile RMSE ve R Kare değerleri elde edilmiştir. Yukarıda elde edilen değerlerin her biri aşağıda kısımda KEKK metodu değerleri ile kıyaslaması yapılmıştır.

TBR modeli iki bileşenin verilerin dağılımdaki değişkenlerin etkilerinin gösterilmesi için “biplot” komutu uygulanmış ve uygulama sonucunda Nvpd, Ntmmx ve Nvap değişkenlerinin daha yüksek benzerlik gösterdiği tespiti yapılmıştır. Bu davranış tersi ayrıca NcloTopH ve Nvs içinde geçerli olduğu tespiti yapılmıştır. Bunlara ek olarak NO₂ yersel ölçüm değişkenimizin NO₂ uydu bazlı ölçüm ve Nngiht değişkeni ile pozitif ilişkisi bulgusuna varılmıştır. Şekil 4.19’da ilişki gösterilmiştir.

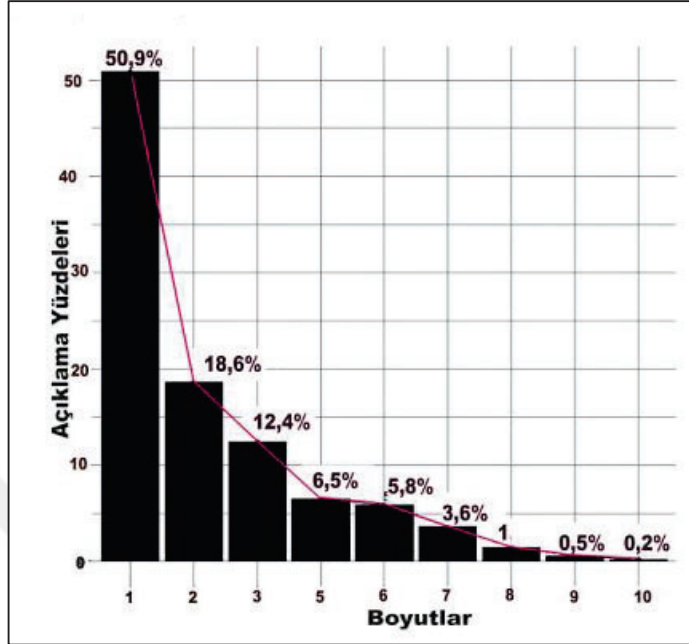


Şekil 4.19. NO₂ yersel ölçüm değişkenimizin NO₂ uydu bazlı ölçüm ve ngiht değişkeni ile pozitif ilişkisi bulgusu

TMmn, TMmx, Vap ve Vpd kendi arasında, CloTopH ile Vs arasında NO₂ yersel ölçüm ile Night arasında etkin ilişki tespiti olduğu gözlemlenmiştir. NO₂ yersel ölçüm bağımlı değişkeninin ise çok güçlü olmamakla birlikte belirgin ölçüde NO₂ uydu bazlı ölçüm ve Night ile ilişkisi gözlemlenmiştir. Bu dağılımın numaralandırma biçimi bize 90 ile 100 grubunun NO₂ yersel ölçüm, NO₂ uydu bazlı ölçüm ve Night değişkenleri arasında anlamlı derecede ilişki olduğunu göstermiştir. Bu bulgu ile bu sayı grubunun (90-100) veri setinde ekim, kasım, aralık gibi kış aylarını göstermesi ilişki tespitinde kirletici miktarının artış yapmış olduğu ayları göstermesi önemli bir bulgu olmasını sağlamıştır.

İki bileşenin gösterilmesinden sonra diğer bileşenlerin açıklanma oranlarının görselleştirilmesi için aşağıdaki Şekil 4.20’de üretilmiştir. Üç bileşen ile tanımlanmanın yeterli olacağı bilgisi ışığında görsel kutu grafiği elde edilmiştir. Kutu grafiğinde gösterilmiş olan yüzde değerleri özdeğerlerin toplam özdeğere oranı ifade etmektedir.

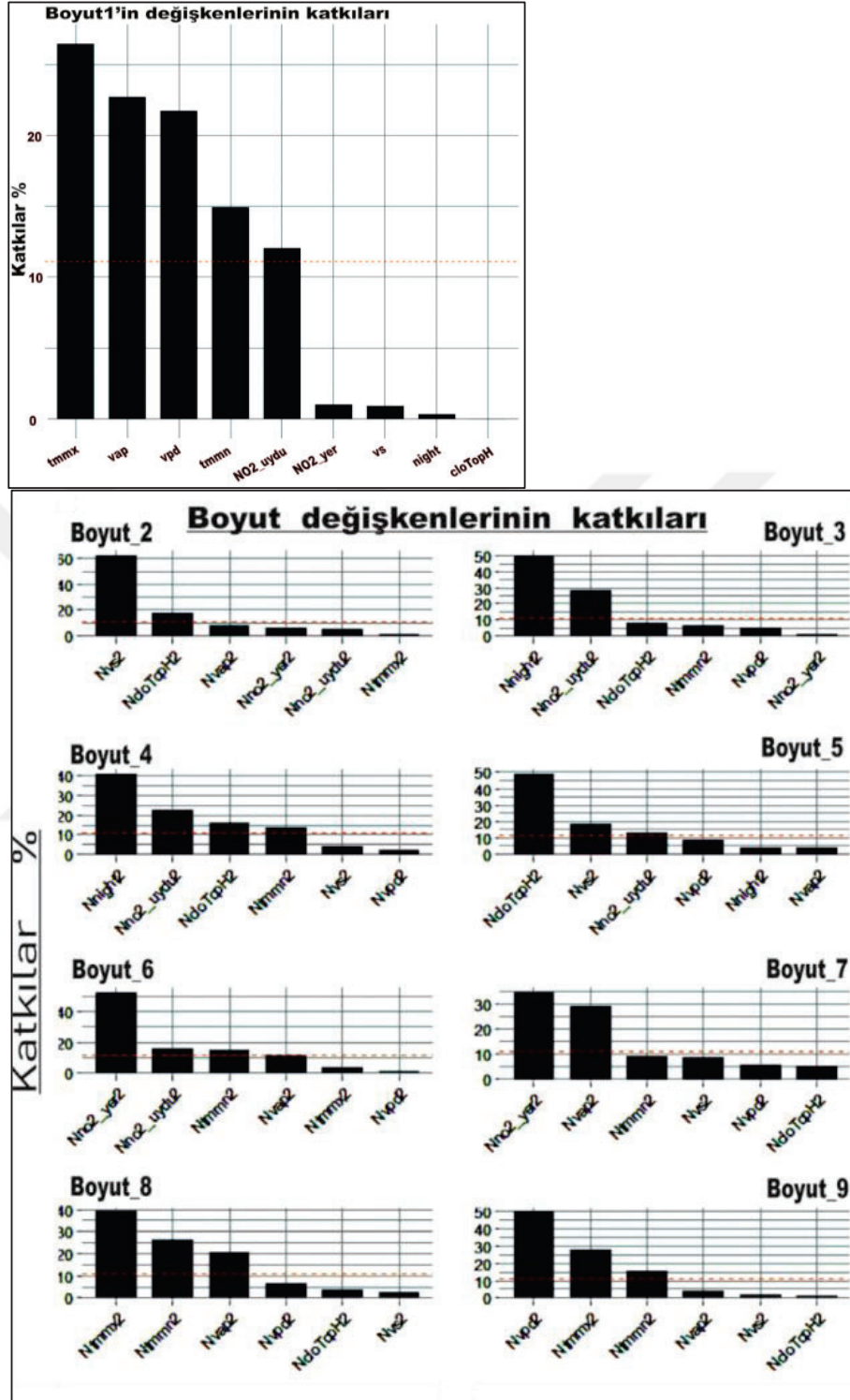
Temel bileşenlere ait elde edilmiş olan varyans (özvektör) grafik 4.bileşen bükülmenin noktası (point of inflexion) olarak tespiti yapılmıştır. Bu seçilen noktanın(4.) sol tarafında olan bileşenler seçilmiştir. %10 üstü (percentage of explained variance) değerdekilerin alınması gerektiği bilgisi bu tespiti yapılmasına neden olmuştur (Kaiser 1960).



Şekil 4.20. Diğer bileşenlerin açıklanma oranlarının görselleştirilmesi

Değişkenlerin ve bileşenlerin (birinci ana bileşene ve ikinci ana bileşene karşılık gelen) x ve y koordinatları, her bileşenin döndürme matrisi ve standart sapması çıkarılmış ve buna göre çarpılarak hesaplanmıştır. İşlem sonucunda her vektörün x koordinasyonu, döndürme matrisinin ürünü ve PC1'in standart sapması şeklinde bulgu elde edilmiştir. Standart sapmaları “ $\sqrt{\frac{\text{TBR}\$sdev^2}{\sum(\text{TBR}\$sdev^2)}}$ ” uygulanması ile (0.50894, 0.18581, 0.12409, 0.06460, 0.05840, 0.03612, 0.01468, 0.00550, 0.00187) olarak elde edilmiştir. Bu işlem bileşenlerin içindeki değişkenlerin etkisinin anlaşılması için “fviz_contrib” işlemi ile aşağıdaki Şekil 4.21'deki 1 ve diğer bileşen sonuçları elde edilmiştir.

Değişkenlerimizin temel bileşenlerimize sağlamış olduğu katıqların elde edilmesi ile 1.Bileşende TMmn, Vap, Vpd, TMmn, NO₂ uydu bazlı ölçüm katkısı belirgin diğerlerinin etkisinin nispeten az olduğu tespiti yapılmıştır. Diğer bileşenler içinde görsel sonuçlar elde edilmiştir. NO₂ yersel ölçüm, Night, Vap, CloTopH, TMmn değişkenlerinin bileşenlere en çok katkı sağlayan değişkenler arasında olduğu tespiti yapılmıştır.



Şekil 4.21. Değişkenlerin bileşenlerdeki katkı miktar grafiği

Elde edilen sonuçlar ile her bir bileşende farklı değişkenlerin etkin olduğu gözlemlenmiştir. Belirgin bir şekilde her bir bileşende aynı değişken sabit karakteristiği tespiti yapılamamış yani sabit karakteristik bir etki gözlemlenememiştir.

4.2.2. TBR Genel değerlendirme

Aşağıda Çizelge 4.27’i TBR Genel Değerlendirme Tablosu çalışmadaki tüm bilgileri özetlemek amacıyla düzenlemiştir. Üç adet bileşen belirlenmiştir. R Kare 0.48 değeri ile ilk işlem olan ÇDR’ye göre hem çoklu bağlantı sorunu önüne geçilmiş hem de anlam değerinde artış sağlanmıştır.

Çizelge 4.27. TBR genel değerlendirilmesi

TBR Metodu		TBR Genel Değerlendirme Tablosu		
comp = 3				
TRAINING: açıklanan % varyans				
	1 comps 2 comps 3 comps			
X	55.95	73.80	86.63	
.outcome	19.95	32.33	37.70	
96 Örnek, 8 Tahminci				
ncomp	RMSE	R Kare	MAE	
3	0.1023481	0.4768245	0.07369224	
tahminler				
Model performans metrikleri				
	RMSE	R Kare		
1	0.1284211	0.1982699		

4.3. Kısmi En Küçük Kareler Regresyonu (KEKKR, Partial Least Squares Regression, KEKKR)

4.3.1. KEKKR metotları

TBAR metodunun seçilen ana bileşenlerimizin (PC) sonuçla ilişkisi olduğuna dair doğrulayıcı bir aracın olmaması ve bu kısmi belirsizliğidir. TBAR metodunun denetimsiz yapısı nedeninden dolayı KEKK metoduna geçiş yapılmıştır. KEKKR denetimli metottur. TBR’nin negatif yönü seçmiş olduğu ana bileşenleri sonuçla ilişkilendirmesi doğrulama kayıgısı taşımamasıdır. Sonuç olarak elde edilen değişken tarafından kontrolü yapılmamasıdır. KEKKR ise bu ihtiyaçları karşılamamaktadır. Boyut azaltma işlemini yaparken aynı zamanda oluşan bileşenlerini tanımlamaktadır. KEKKR sonuç ile denetmesi yapılan bir boyutun azaltılması metodudur. TBR ve KEKKR uygulamada yüksek korelasyon tahmin edicilerin olduğu modeller için daha uygundur. KEKKR uygulamalarında çapraz doğrulama işlemi çoğunlukla tercih edilmektedir (Anonim 17).

TBAR ve KEKK metodunda ilk olarak farklı yapıdaki verilerin birbiri ile uyumlu olması amacıyla standartlaşması yapılmıştır. Çalışmada veriler 0 ile 1 arasında olacak şekilde standartlaştırılmıştır. KEKKR metodu orijinal tahmin değişkenlerini özetlemenin yanı sıra sonuçla alakalı olan temel bileşenleri tanımlamaktadır. Üretilen bu yeni temel bileşenleri bir sonraki aşamada regresyon modeline uyması için kullanılmıştır. Bu işlemde Sonra TBAR’dan farklı olarak KEKK metodunda sonuç ile denetlenen bir boyut azaltılması işlemi yapılmıştır.

TBAR benzeri KEKK metodu büyük oranda birbiri ile ilişkisi olan çoklu bağlantı sorunu olan verilerde kullanıma uygundur. KEKK metod uygulamasında Temel Bileşenlerin (PC) sayısı çoğunlukla Çapraz Doğrulama (CV) fonksiyonu ile yapılmaktadır.

İlk olarak ilgili paket (tidyverse, caret, pls) yüklemeleri yapılmıştır. Paketler sayesinde veri görselleştirilmesi ve KEKK uygulaması yapılmıştır. Verilerin hazırlanması işleminde; NO₂ yersel ölçüm değeri bağımsız değişken, diğerleri bağımlı değişken olarak belirlenmiştir. NO₂ yersel ölçüm değeri tahmin edilme hedeflenmiştir. Veriler CreaVeriPartition fonksiyonu yardımıyla ile hesaplama işleminde çapraz doğrulama hata (RMSE) en az olacak şekilde bileşen ana sayısı seçilmiştir.

Çalışmada ilgili kütüphanelerin kurulması, numerik değerlerin sayısal tipine dönüştürülmesi gerçekleştirilmiştir. KEKKR bölümünde 6 adet model kurulması gerçekleştirilmiştir.

İlk model olarak temel düzeyde `model1<- plsr(NO2_yer ~ ., data = veri)` komutu ile model1 oluşturulmuştur. Model1'e summary komutu uygulanmış ve aşağıdaki Çizelge 4.28'de oluşturulmuştur. Uygun bileşen 4 ile varyans açıklandığı elde edilmiştir. Açıklanması gereken bilginin %91.21'ini ve sonuç değişkenindeki değişiminin %37.25'ni açıklamıştır.

Çizelge 4.28. Model1 Bileşen ve açıklama yüzdeleri

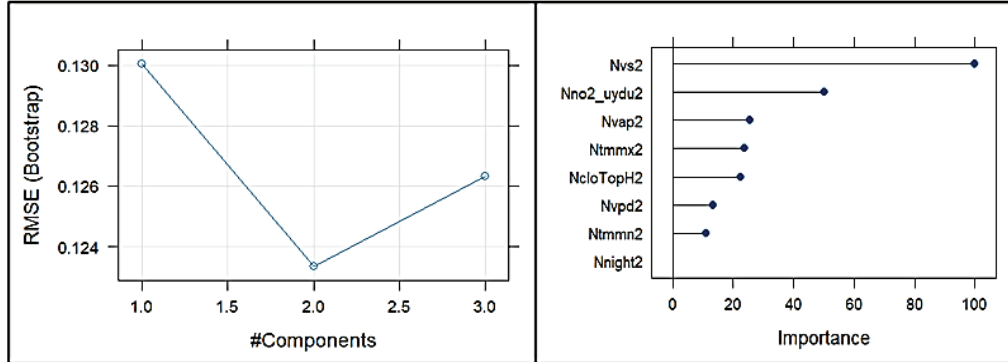
Data: X dimension: 120 8								
Y dimension: 120 1								
Fit method: kernelpls								
Number of components considered: 8								
TRAINING: % variance explained								
	1	2	3	4	5	6	7	8
X	66.10	80.27	86.39	91.21	94.35	96.71	99.62	100.00
NO₂	23.38	34.68	36.33	37.25	37.52	37.67	37.70	37.74

İkinci model caret paketi kullanılması ile gerçekleştirilmiştir. Model kurulumu `model2 <- train(NO2_yer ~ ., data = veri, method = 'pls')` şeklinde oluşturulmuştur. Modele summary ve model2 komutu uygulanması sonucu aşağıdaki Çizelge 4.29 elde edilmiştir. Uygun bileşen 2 ile varyans açıklandığı elde edilmiştir. Açıklanması gereken bilginin %80.27'sini ve sonuç değişkenindeki değişiminin %34.68'ni açıklamıştır. R Kare değeri ise 0.33 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 4.29. Model2 komutu uygulaması

Data: X dimension: 120 8 ; Y dimension: 120 1			
Fit method: oscorespls			
Number of components considered: 2			
TRAINING: % variance explained			
	1 comps	2 comps	
X	66.10	80.27	
.outcome	23.38	34.68	
Partial Least Squares			
120 örnekler, 8 tahminci, Ön işlem yoktur.			
Yeniden Örnekleme: Bootstrapped (25 reps)			
Summary of sample sizes: 120, 120, 120, 120, 120, 120, ...			
Resampling results across tuning parameters:			
<u>ncomp</u>	<u>RMSE</u>	<u>R Kare</u>	<u>MAE</u>
1	0.1300538	0.2410200	0.08579187
2	0.1233400	0.3303820	0.07809852
3	0.1263368	0.3038247	0.07881347
RMSE was used to select the optimal model using the smallest value.			
The final value used for the model was ncomp = 2.			

Model2'nin uygun bileşeni grafiksel olarak plot (model2) komutu uygulanmış ve aşağıdaki Şekil 4.22.a'daki grafik elde edilmiştir. Değişkenlerin model içindeki etki ve önem derecesinin grafiksel gösterimi için plot(varImp (model2)) komutu uygulanmış ve aşağıdaki Şekil 4.22.b'de elde edilmiştir.

**Şekil 4.22.** (a) Model2'nin uygun bileşeni (b) değişkenlerin model içindeki etki ve önem derecesi

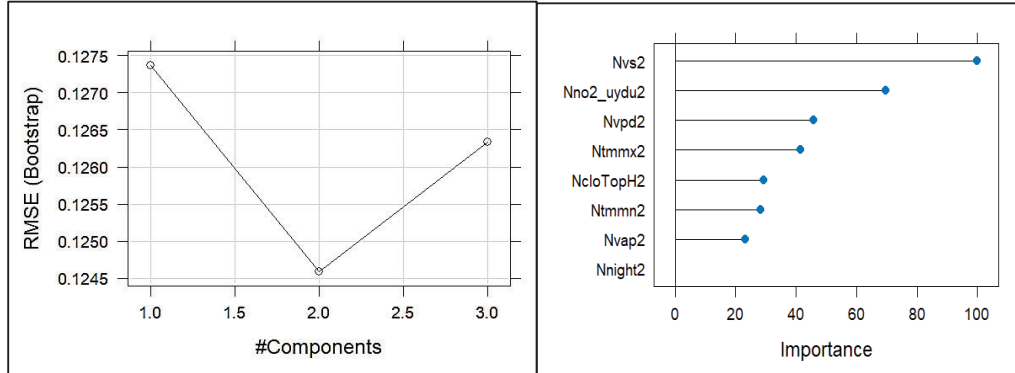
Üçüncü model uygulamasında ölçek ve merkez fonksiyonu uygulanması ile `model3 <- train(NO2_yer ~ ., data = veri, method = 'pls', preProcess = c("center", "scale"))` şeklinde oluşturulmuştur. Modele summary ve model3 komutu uygulanması sonucu aşağıdaki Çizelge 4.30'da elde edilmiştir. Uygun bileşen 2 ile varyans açıklandığı elde edilmiştir. Açıklanması gereken bilginin %71.74'ü ve sonuç

değişkendeki değişiminin %34.97'sini açıklamıştır. R Kare değeri ise 0.32 olarak elde edilmiştir. Bu aşamada kullanılan ölçek ve merkez fonksiyonu modelleme çalışması öncesinde dönüşüm işlemini gerçekleştirilmesinde katkı sağlamaktadır. Tahmin değişkenlerimizin dönüştürülmesi amacı gerçekleştirilmiştir (Kuhn 2008).

Çizelge 4.30. Model3 komutu uygulaması

Data: X dimension: 120 8, Y dimension: 120 1			
Fit method: oscorespls, Number of components considered: 2			
TRAINING: % variance explained			
	1 comps	2 comps	
X	51.55	71.74	
.outcome	27.94	34.97	
Partial Least Squares			
120 örnekler, 8 tahminci, Ön İşleme: centered (8), scaled (8)			
Yeniden Örnekleme: Bootstrapped (25 reps)			
Summary of sample sizes: 120, 120, 120, 120, 120, 120, ...			
Resampling results across tuning parameters			
ncomp	RMSE	R Kare	MAE
1	0.1273706	0.2767448	0.08309116
2	0.1245858	0.3208164	0.07891229
3	0.1263379	0.3045386	0.07898134
RMSE was used to select the optimal model using the smallest value.			
The final value used for the model was ncomp = 2 .			

Model3'nin uygun bileşeni grafiksel olarak plot(model3) komutu uygulanmış ve aşağıdaki Şekil 4.23.a'daki grafik elde edilmiştir. Değişkenlerin model içindeki etki ve önem derecesinin grafiksel gösterimi için plot(varImp(model3)) komutu uygulanmış ve aşağıdaki Şekil 4.23.b elde edilmiştir.



Şekil 4.23. (a) Model3'ün uygun bileşeni (b) değişkenlerin model içindeki etki ve önem derecesi

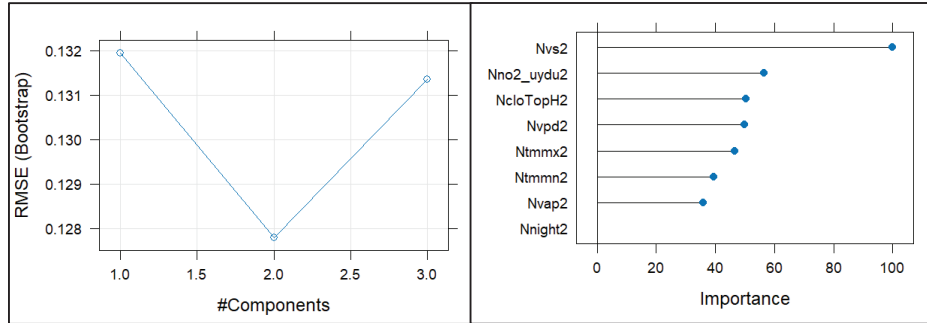
Dördüncü model uygulaması olarak veri test ve eğitim olmak üzere iki parçaya ayrılmıştır. Model `model4 <- train( NO2_yer ~ ., data = training, method = 'pls', preProcess = ("center", "scale"))` şeklinde oluşturulmuştur. Modele summary ve model4 komutu uygulanması sonucu aşağıdaki Çizelge 4.31'de elde edilmiştir. Uygun bileşen 2 ile varyans açıklandığı elde edilmiştir. Açıklanması gereken bilginin %71.03'ü

ve sonuç değişkenindeki değişiminin % 32.37'sini açıklamıştır. R Kare 0.31 değeri ise olarak elde edilmiştir.

Çizelge 4.31. Model4 komutu uygulaması

Data: X dimension: 96 8, Y dimension: 96 1			
Fit method: oscorespls			
Number of components considered: 2			
TRAINING: % variance explained			
	1 comps	2 comps	
X	51.59	71.03	
.outcome	25.48	32.37	
Partial Least Squares			
96 örnekler, 8 tahminci, Veri İşleme: centered (8), scaled (8)			
Yeniden Örnekleme: Bootstrapped (25 reps)			
Summary of sample sizes: 96, 96, 96, 96, 96, 96, ...			
Resampling results across tuning parameters:			
ncomp	RMSE	R Kare	MAE
1	0.1319482	0.2679590	0.08543047
2	0.1277915	0.3131466	0.08115622
3	0.1313455	0.2862782	0.08328395
RMSE was used to select the optimal model using the smallest value.			
The final value used for the model was ncomp = 2 .			

Model4'nin uygun bileşeni grafiksel olarak plot(model4) komutu uygulanmış ve aşağıdaki Şekil 4.24.a'daki grafik elde edilmiştir. Değişkenlerin model içindeki etki ve önem derecesinin grafiksel gösterimi için plot(varImp(model4)) komutu uygulanmış ve aşağıdaki Şekil 4.24.b elde edilmiştir



Şekil 4.24. (a) Model4'ün uygun bileşeni (b) değişkenlerin model içindeki etki ve önem derecesi

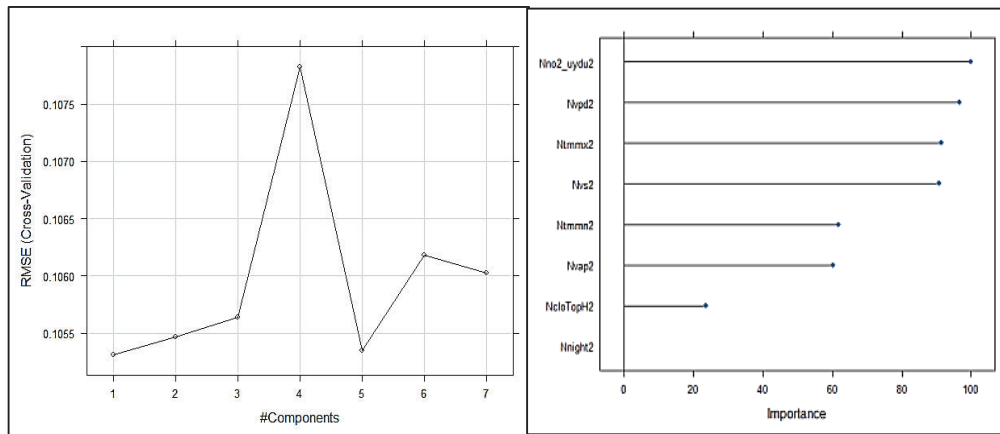
Beşinci model uygulaması olarak dördüncü modele ek olarak trControl ve tuneLenght fonksiyon uygulaması eklenmesi ile *model5 <- train(+ NO₂_yer~, data = train.data, method = "pls", scale = TRUE, trControl = trainControl("cv", number = 10), tuneLength = 10)* şeklinde oluşturulmuştur. Model5'e Model5\$bestTun komutu uygulanması sonucu n=1, ncomp=1 olacak şekilde uygun bileşen sayısı elde edilmiştir.

Model summary (model5\$finalModel) komutu uygulanması sonucu aşağıdaki Çizelge 4.32’de elde edilmiştir. Uygun bileşen 1 ile varyans açıklandığı elde edilmiştir. Açıklanması gereken bilginin %53.47’ü ve sonuç değişkenindeki değişimin % 32.64’sini açıklamıştır. R Kare 0.49 değeri ise olarak elde edilmiştir.

Çizelge 4.32. Model5 komutu uygulaması

Data: X dimension: 96 8, Y dimension: 96 1			
Fit method: oscorespls, Number of components considered: 2			
TRAINING: % variance explained			
	1 comps		
X	53.47		
.outcome	32.64		
Partial Least Squares			
96 örnekler, 8 tahminci, Ön işlem yoktur, Yeniden Örnekleme: Çapraz Doğrulandı (10 fold)			
Summary of sample sizes: 86, 85, 87, 87, 87, 87, ...			
Resampling results across tuning parameters:			
ncomp	RMSE	Rsquared	MAE
1	0.1053102	0.4931201	0.07674442
2	0.1054644	0.5017617	0.07177477
3	0.1056421	0.5064089	0.07296930
4	0.1078260	0.5046661	0.07433877
5	0.1053497	0.5155728	0.07114606
6	0.1061835	0.5095366	0.07193336
7	0.1060249	0.5092808	0.07185845
RMSE was used to select the optimal model using the smallest value.			
The final value used for the model was ncomp = 1.			

Model5’nin uygun bileşeni grafiksel olarak plot(model5) komutu uygulanmış ve aşağıdaki Şekil 4.25.a’daki grafik elde edilmiştir. Değişkenlerin model içindeki etki ve önem derecesinin grafiksel gösterimi için plot(varImp(model5)) komutu uygulanmış ve aşağıdaki Şekil 4.25.b elde edilmiştir.



Şekil 4.25. (a) Model5’in uygun bileşeni (b) değişkenlerin model içindeki etki ve önem derecesi

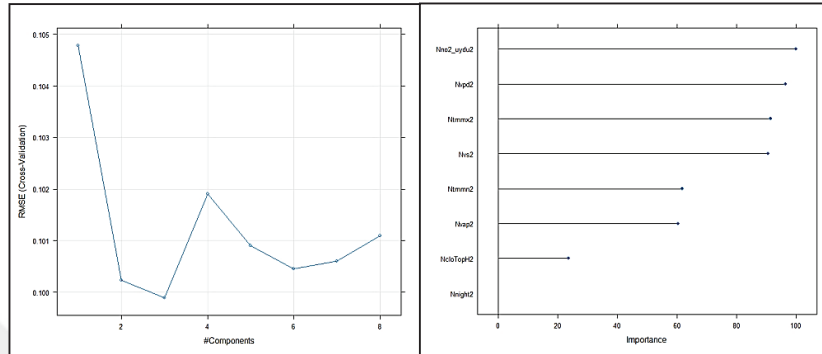
Modelin hassasiyetini yani doğruluğunun irdelenmesi `predictions <- model5 %>% predict (test.data)` komutu ile yapılmıştır. Ayrıca modelin performansının değerlendirilmesi için RMSE: 0.14 ve Rsquare: 0.09 değerleri elde edilmiştir.

Altıncı model uygulaması olarak Model5'e ek olarak `tuneGrid` ve `trControl` ek fonksiyon uygulanması ile Model6, `model6 <- train( NO2 _yer ~ .,data = train.data,method = 'pls',preProcess = c("center", "scale"), trControl = ctrl, tuneGrid = tuneGrid)` şeklinde oluşturulmuştur. Modele summary ve model6 komutu uygulanması sonucu aşağıdaki Çizelge 4.33'de elde edilmiştir. Uygun bileşen 3 ile varyans açıklandığı elde edilmiştir. Açıklanması gereken bilginin %84.65'i ve sonuç değişkendeki değişiminin %39.44'ü açıklamıştır. R Kare 0.53 değeri ise olarak elde edilmiştir.

Çizelge 4.33. Model6 komutu uygulaması

Data: X dimension: 96 8, Y dimension: 96 1			
Fit method: oscorespls			
Number of components considered: 3			
TRAINING: % variance explained			
	1 comps	2 comps	3 comps
X	53.47	72.66	84.65
.outcome	32.64	38.60	39.44
Partial Least Squares			
96 örnekler,			
8 tahminci			
Veri İşleme: centered (8), scaled (8)			
Yeniden Örnekleme: Çapraz Doğrulandı (10 fold)			
Summary of sample sizes: 86, 88, 87, 85, 87, 88, ...			
Resampling results across tuning parameters:			
ncomp	RMSE	R Kare	MAE
1	0.10477964	0.4401028	0.07547255
2	0.10023623	0.5192474	0.06996007
3	0.09989565	0.5282052	0.06983864
4	0.10191083	0.5099146	0.07080674
5	0.10090267	0.5218092	0.06934469
6	0.10045395	0.5209111	0.06866299
7	0.10060792	0.5193782	0.06879714
8	0.10109778	0.5174516	0.06919590
RMSE was used to select the optimal model using the smallest value.			
The final value used for the model was ncomp = 3 .			

Model6'nin uygun bileşeni grafiksel olarak plot (model6) komutu uygulanmış ve aşağıdaki Şekil 4.26.a'daki grafik elde edilmiştir. Değişkenlerin model içindeki etki ve önem derecesinin grafiksel gösterimi için plot (varImp(model6)) komutu uygulanmış ve Şekil 4.26.b elde edilmiştir.



Şekil 4.26. (a) Model6'in uygun bileşeni (b) değişkenlerin model içindeki etki ve önem derecesi

Modelin hassasiyetini yani doğruluğunun irdelenmesi `predictions <- model6 %% predict (test.data)` komutu ile yapılmıştır. Ayrıca modelin performansının değerlendirilmesi için RMSE: 0.13 ve Rsquare: 0.24 değerleri elde edilmiştir.

4.3.2. KEKKR metot uygulama sonuçlarının toplu değerlendirilmesi:

Altı adet KEKKR modeli ele alınmıştır. En temel KEKKR modelinden en kapsamlı olan altıncı modele kadar ele alınmasının amacı KEKKR metotunun ayrıntılı olarak gösterilmesi ve her bir eklentinin modele katkısının gösterilmesi sağlanmıştır. Sonuç model olarak altıncı model elde edilmiştir. Tüm modellerin topluca gösterimi aşağıdaki Çizelge 4.33’de gösterilmiştir.

Altıncı modelde Hiper Parametre uygulamasında hem R Kare pozitif artışı tespit edilmiştir. Açıklanması gereken bilginin değişiminin büyük oranda değişmemesine ek olarak sonuç değişkenindeki bilginin açılanma oranının artışı gözlemlenmiştir. Bu çalışmadaki son model yapısının daha etkin olduğu tespitini yapmamıza neden olmuştur.

Bu bilgi ışığında bir sonraki bölüm olan istasyonların irdelenmesi Hiperparametre KEKK metodu ile yapılmıştır. Çalışmada bu Rsquare değeri büyüklüğü bulunması KEKKR metodun literatür taramasında tercih edilen model olmasını desteklemiştir. Bu gerekçeler ışığında çalışmanın bu aşamasından sonra Hiper KEKKR metodu kullanıma karar verilmiştir.

Çizelge 4.34. KEKKR metodu uygulama sonuçları toplu liste

Model	com	X	.outco	RMS	Rsquare	MAE	TestRM	TestRsqr
Model1	4	91.21	37.25	-	-	-		
Model2	2	80.27	34.68	0.12334	0.3303820	0.078098		
Model3	2	71.74	34.97	0.12458	0.3208164	0.078912		
Model4	2	71.03	32.37	0.12779	0.3131466	0.081156		
Model5	1	53.47	32.64	0.10531	0.4931201	0.076744	0.1408342	0.0916643
Model6	3	84.65	39.44	0.09989	0.5282052	0.069838	0.1259145	0.2401129

Toplu olarak modeller ele alınmış ve en düşük Rsquare 0.33 değeri ile model2 tespit edilmiş iken model6 Rsquare 0.53 değeri ile en yüksek değer olarak tespit edilmiştir. Sadece KEKKR modelleri arasında en yüksek değer olmasına ek olarak ÇDR ve TBR uygulamalarındaki modellerden de yüksek çıkmıştır.

Nihai model olan model6, hiperparametre uygulaması ile elde edilmiştir. Modellerin kıyaslamasında model6'nın Rsquare ve RMSE değeri açısından üstün olmasının yanı sıra açıklanması gereken bilgileri %84.65 ve sonuç değişimindeki değişiminin %39.44'nü açıklaması ile de en yüksek değere sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Bu bulgular ışığında sonuç model olarak model6 tespiti yapılmıştır.

4.3.3. İstasyonların irdelenmesi (Kısmi en küçük kareler regresyonu, KEKKR)

Çalışmada tüm istasyonların verileri tek bir veri seti olarak ele alınmış ve metotlar bu veri seti ile irdelenmiştir. Bu inceleme sonucunda anlamlı bulgular elde edilmiştir. Çalışmanın bu aşamasından sonra anlamlı bulgular ulaşılmasını sağlayan sonuç metot olan KEKKR metodu ile istasyonların tek tek ele alınmasına karar verilmiştir. Her bir istasyonun 2021 yılı içindeki her ay yapmış olduğu ölçümleri bir csv dosyası halinde oluşturulmuştur. KeKKR metot uygulaması yapılmıştır

Yukarıdaki işlemler 12 aylık istasyon verileri ile model çalışması yapılmıştır. Bu bölümde ise istasyonlar her biri tek tek ele alınmış ve nihai model olarak belirlenen KEKKR modeli her bir istasyona uygulanmıştır. Çalışmada her istasyonda yeterli veri bulunmamaktadır. Veri yetersiz olan istasyon irdelenememiştir. Aşağıdaki Çizelge 4.35'de yeterli/yetersiz istasyon verisi ve istasyon bilgisi gösterilmiştir.

Çizelge 4.35. Yeterli ve yetersiz veri sağlayan istasyonlar

Veri Yeterli		Veri Yetersiz	
No	İstasyon Adı	No	İstasyon Adı
1	Bahçelievler	1	Ostim
2	Demetevler	2	Sıhhiye
3	Etimesgut	3	Törekent
4	Keçiören	4	Ulus
5	Sincan	5	Yaşamkent
6	Siteler		
7	Yaygınlaştırma-Çankaya		
8	Yaygınlaştırma-Mamak		

4.3.3.1. Bahçelievler

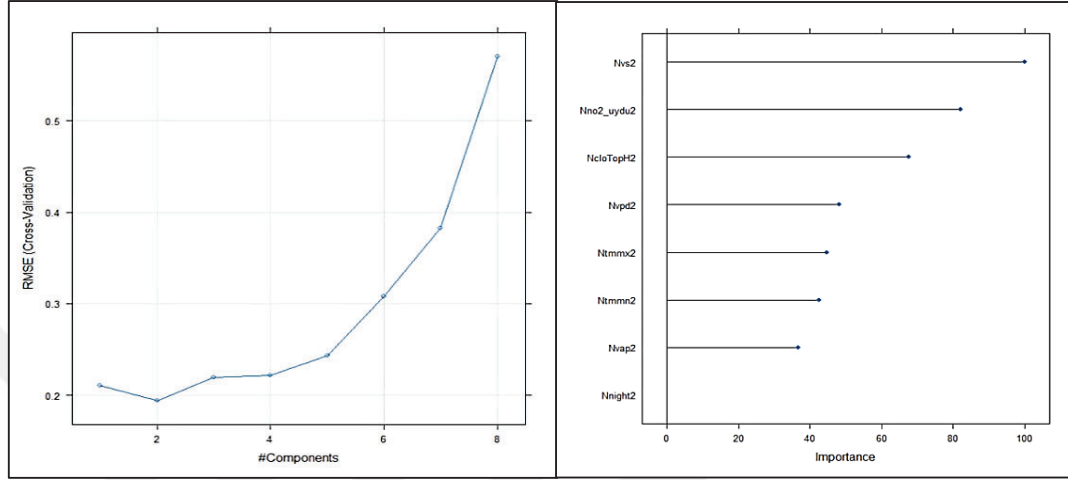
model6 <- train(NO₂ yersel ölçüm ~ .,Veri = training,method = 'pls',preProcess = c("center", "scale"), trControl = ctrl, tuneGrid = tuneGrid)

Yukarıdaki model kurulmuş ve KEKKR metodu uygulanmıştır. Oluşturulan modelin genel raporlaması için “Summary” fonksiyonu kullanılmıştır. Aşağıdaki Çizelge 4.35’de oluşturulmuştur. KEKKR uygulanması sonucu elde edilen en uygun ana bileşen sayısı ncomp=2 olarak elde edilmiştir. Bu işlem ile açıklanması gereken bilginin %78.79’u ve sonuç değişkendeki değişiminin %75.87’sini açıklamıştır. Aşağıdaki Çizelge 4.36’de bu tespitler ve ek bilgiler verilmiştir.

Çizelge 4.36. Bahçelievler model raporu

summary(model6)			
Veri: X dimension: 12 8 , Y dimension: 12 1, Fit method: oscorespls, Belirlenen Bileşenlerin Sayısı: 2			
TRAINING: açıklanan % varyans			
	1 comps	2 comps	
X	55.30	78.79	
.outcome	56.84	75.87	
Partial Least Squares			
12 Örnek, 8 Tahminci			
Veri İşleme: centered (8), scaled (8),			
Yeniden Örnekleme: Çapraz Doğrulandı (10 fold)			
Örnek boyutlarının özeti: 11, 11, 11, 10, 11, 11, ...			
Sonuçları ayarlama parametreleri arasında yeniden örnekleme:			
ncomp	RMSE	R Kare	MAE
1	0.2107740	1	0.2098325
2	0.1944396	1	0.1933897
3	0.2194548	1	0.2175332
4	0.2219574	1	0.2203203
5	0.2429733	1	0.2385284
6	0.3082161	1	0.3048294
7	0.3825615	1	0.3788728
8	0.5700285	1	0.5677850
En küçük değeri kullanarak en uygun modeli seçmek için RMSE kullanıldı.			
Model için kullanılan son değer ncomp= 2.			

Modelin değişkenlerinin modele katkı etkisinin daha iyi anlaşılması için aşağıdaki şekil 4.27'daki VIF grafiği elde edilmiştir. NO₂ uydu bazlı ölçüm, Vs, cloTopH, Vpd değişkenlerinin etkin olduğu gorselleştirilmiştir.



şekil 4.27. Bahçelievler model bileşen sayısı ve VIF

Diğer istasyonlar içinde aynı işlemler tekrarlanmıştır. Tüm istasyonlar için KEKKR model raporu ve model bileşen sayısı ve VIF çıktıları elde edilmiştir. Bu işlem için kullanılan aşağıdaki komut tüm istasyonlarda aynı şekilde kullanıştır. Sadece istasyona ait veri dosyası farklı girilmiştir.

“model6 <- train(NO₂ yersel ölçüm ~ .,Veri = training,method = 'pls',preProcess = c("center", "scale"), trControl = ctrl, tuneGrid = tuneGrid)”

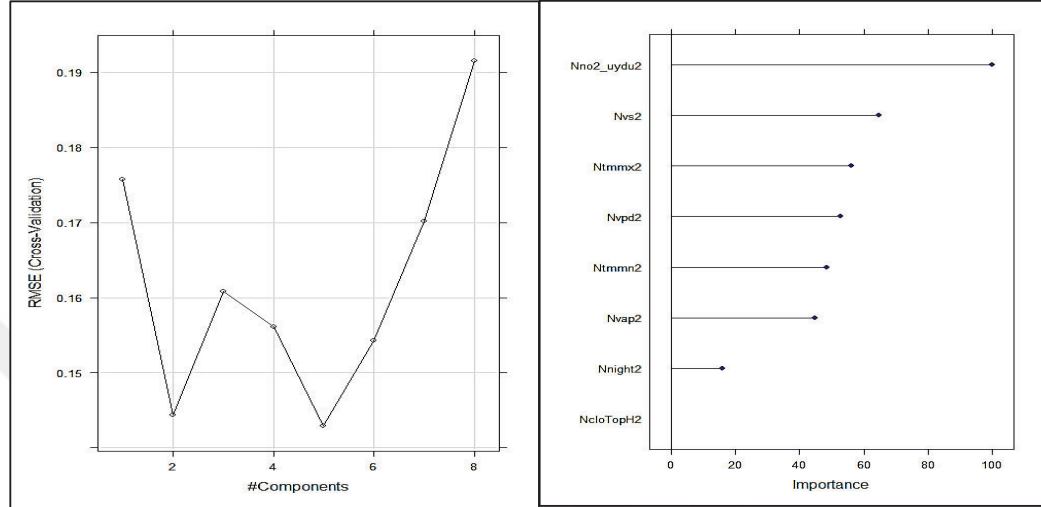
4.3.3.2. Demetevler

Yukarıdaki model kurulmuş ve KEKKR metodu uygulanmıştır. Oluşturulan modelin genel raporlaması için “Summary” fonksiyonu kullanılmıştır. Aşağıdaki Çizelge 4.37’de oluşturulmuştur. KEKKR uygulanması sonucu elde edilen en uygun ana bileşen sayısı ncomp=5 olarak elde edilmiştir. Bu işlem ile açıklanması gereken bilginin %97.73’nü ve sonuç değişkenindeki değişiminin %94.99’u açıklamıştır.

Çizelge 4.37. Demetevler KEKKR model raporu

summary(model6)					
Veri: X dimension: 12 8, Y dimension: 12 1					
Fit method: oscorespls, Belirlenen Bileşenlerin Sayısı: 5					
TRAINING: açıklanan % varyans					
	1 comps	2 comps	3 comps	4 comps	5 comps
X	58.96	79.82	91.04	94.80	97.73
.outcome	71.22	85.03	89.18	92.85	94.99
Partial Least Squares					
12 Örnek, 8 Tahminci, Veri İşleme: centered (8), scaled (8)					
Yeniden Örnekleme: Çapraz Doğrulandı(10 fold), Örnek boyutlarının özeti: 11, 11, 11, 10, 11, 11, ...					
Sonuçları ayarlama parametreleri arasında yeniden örnekleme:					
ncomp	RMSE	R Kare	MAE		
1	0.1757731	1	0.1705240		
2	0.1443404	1	0.1395451		
3	0.1608352	1	0.1545637		
4	0.1560757	1	0.1471080		
5	0.1429676	1	0.1363399		
6	0.1543103	1	0.1466428		
7	0.1701881	1	0.1646092		
8	0.1914918	1	0.1852144		
En küçük değeri kullanarak en uygun modeli seçmek için RMSE kullanıldı.					
Model için kullanılan son değer ncomp= 5.					

Modelin değişkenlerinin modele katkı etkisinin daha iyi anlaşılması için aşağıdaki şekil 4.28'deki VIF grafiği elde edilmiştir. NO₂ uydu bazlı ölçüm, Vs, Tmmx, Vpd değişkenlerinin etkin olduğu gorselleştirilmiştir.



şekil 4.28. Demetevler model bileşen sayısı ve VIF

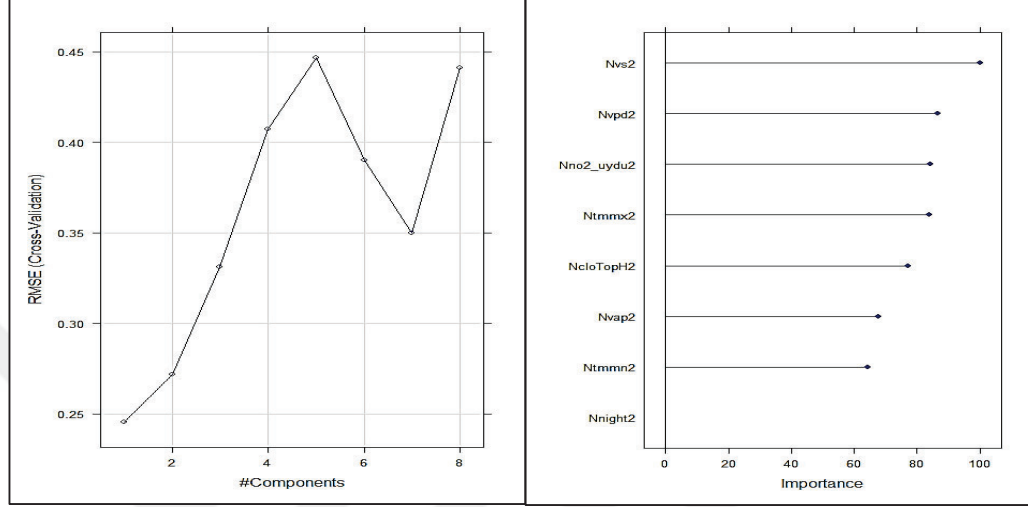
4.3.3.3. Etimesgut

Yukarıdaki model kurulmuş ve KEKKR metodu uygulanmıştır. Oluşturulan modelin genel raporlaması için “Summary” fonksiyonu kullanılmıştır. Aşağıdaki Çizelge 4.38’de oluşturulmuştur. KEKKR uygulanması sonucu elde edilen en uygun ana bileşen sayısı ncomp=1 olarak elde edilmiştir. Bu işlem ile açıklanması gereken bilginin %50.64’nü ve sonuç değişkenindeki değişiminin %50.01’ni açıklamıştır.

Çizelge 4.38. Etimesgut KEKKR model raporu

summary(model6), Veri: X dimension: 11 8, Y dimension: 11 1			
Fit method: oscorespls, Belirlenen Bileşenlerin Sayısı: 1			
1 comps		TRAINING: açıklanan % varyans;	
X	50.64		
.outcome	50.01		
Partial Least Squares			
11 Örnek, 8 Tahminci, Veri İşleme: centered (8), scaled (8)			
Yeniden Örnekleme: Çapraz Doğrulandı (10 fold)			
Örnek boyutlarının özeti: 10, 10, 10, 9, 10, 10, ... ; yeniden örnekleme			
ncomp	RMSE	R Kare	MAE
1	0.2456207	1	0.2455994
2	0.2716978	1	0.2707991
3	0.3310649	1	0.3307161
4	0.4071237	1	0.4063424
5	0.4465776	1	0.4462801
6	0.3900267	1	0.3899257
7	0.3499441	1	0.3493714
8	0.4413279	1	0.4413024
En küçük değeri kullanarak en uygun modeli seçmek için RMSE kullanıldı.			
Model için kullanılan son değer ncomp= 1.			

Modelin değişkenlerinin modele katkı etkisinin daha iyi anlaşılması için aşağıdaki şekil 4.29'deki VIF grafiği elde edilmiştir. Vs, Vpd, NO₂ uydu bazlı ölçüm, TMmx, CloTopH, Vap değişkenlerinin etkin olduğu görselleştirilmiştir.



şekil 4.29. Etimesgut model bileşen sayısı ve VIF

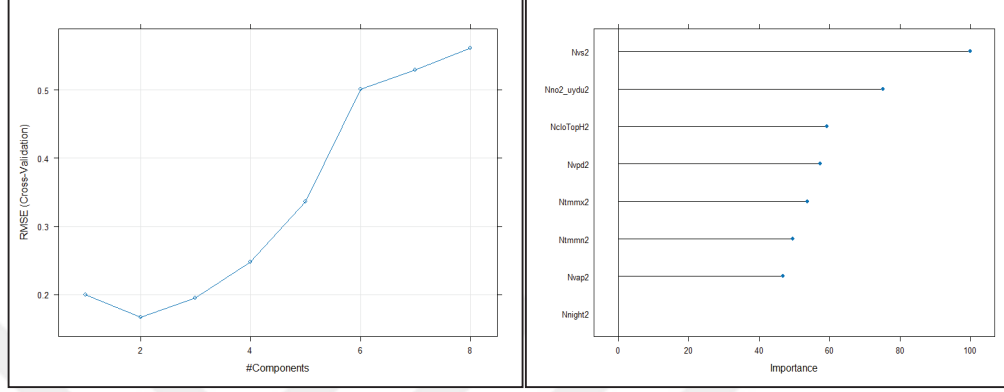
4.3.3.4. Keçiören

Yukarıdaki model kurulmuş ve KEKKR metodu uygulanmıştır. Oluşturulan modelin genel raporlaması için “Summary” fonksiyonu kullanılmıştır. Aşağıdaki Çizelge 4.39’da oluşturulmuştur. KEKKR uygulanması sonucu elde edilen en uygun ana bileşen sayısı ncomp=2 olarak elde edilmiştir. Bu işlem ile açıklanması gereken bilginin %79.05’ni ve sonuç değişimindeki değişiminin %74.80’ni açıklamıştır.

Çizelge 4.39. Keçiören KEKKR model raporu

summary(model6)			
Veri: X dimension: 11 8, Y dimension: 11 1, Fit method: oscorespls			
Belirlenen Bileşenlerin Sayısı: 1			
TRAINING: açıklanan % varyans			
1 comps			
X	50.64		
.outcome	50.01		
Partial Least Squares			
11 Örnek, 8 Tahminci, Örnek boyutlarının özeti: 10, 10, 10, 9, 10, 10, ...			
Veri İşleme: Çapraz Doğrulandı(10 fold),			
Yeniden Örnekleme: centered (8), scaled (8)			
Sonuçları ayarlama parametreleri arasında yeniden örnekleme:			
ncomp	RMSE	R Kare	MAE
1	0.2456207	1	0.2455994
2	0.2716978	1	0.2707991
3	0.3310649	1	0.3307161
4	0.4071237	1	0.4063424
5	0.4465776	1	0.4462801
6	0.3900267	1	0.3899257
7	0.3499441	1	0.3493714
8	0.4413279	1	0.4413024
En küçük değeri kullanarak en uygun modeli seçmek için RMSE kullanıldı.			
Model için kullanılan son değer ncomp= 1.			

Modelin değişkenlerinin modele katkı etkisinin daha iyi anlaşılması için aşağıdaki şekil 4.30'daki VIF grafiği elde edilmiştir. Vs, NO₂ uydu bazlı ölçüm, CloTopH, Vpdp değişkenlerinin etkin olduğu görselleştirilmiştir



şekil 4.30. Keçiören model bileşen sayısı ve VIF

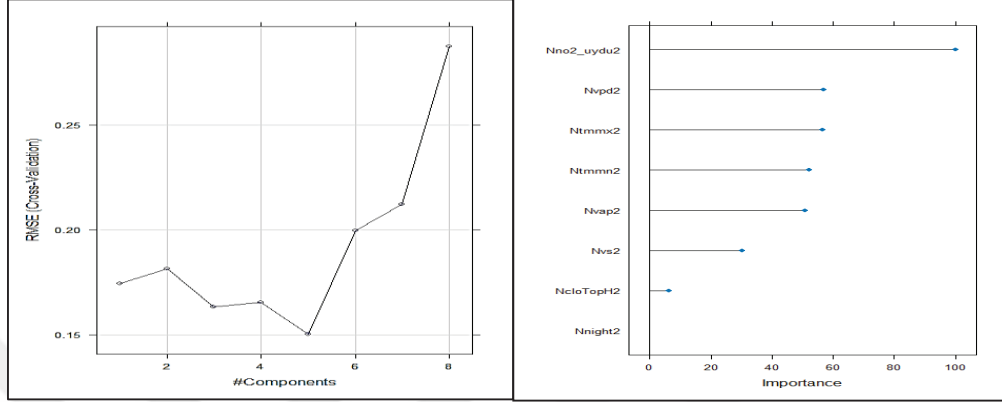
4.3.3.5. Sincan

Yukarıdaki model kurulmuş ve KEKKR metodu uygulanmıştır. Oluşturulan modelin genel raporlaması için “Summary” fonksiyonu kullanılmıştır. Aşağıdaki Çizelge 4.40’da oluşturulmuştur. KEKKR uygulanması sonucu elde edilen en uygun ana bileşen sayısı ncomp=5 olarak elde edilmiştir. Bu işlem ile açıklanması gereken bilginin %98.68’ni sonuç değişkenindeki değişiminin %93.54’nü açıklamıştır.

Çizelge 4.40. Sincan KEKKR model raporu

summary(model6)					
Veri: X dimension: 12 8					
Y dimension: 12 1					
Fit method: oscorespls					
Belirlenen Bileşenlerin Sayısı: 5					
TRAINING: açıklanan % varyans					
	1 comps	2 comps	3 comps	4 comps	5 comps
X	54.69	65.66	80.33	92.39	98.68
.outcome	75.55	90.94	92.17	93.23	93.54
Partial Least Squares					
12 Örnek					
8 Tahminci					
Veri İşleme: centered (8), scaled (8)					
Yeniden Örnekleme: Çapraz Doğrulandı (10 fold)					
Örnek boyutlarının özeti: 11, 11, 11, 10, 11, 11, ...					
Sonuçları ayarlama parametreleri arasında yeniden örnekleme:					
ncomp	RMSE	R Kare	MAE		
1	0.1742289	1	0.1687168		
2	0.1815410	1	0.1739110		
3	0.1632337	1	0.1609292		
4	0.1653279	1	0.1639446		
5	0.1503066	1	0.1486846		
6	0.1996858	1	0.1977500		
7	0.2121230	1	0.2085192		
8	0.2872226	1	0.2797666		
En küçük değeri kullanarak en uygun modeli seçmek için RMSE kullanıldı.					
Model için kullanılan son değer ncomp= 5.					

Modelin değişkenlerinin modele katkı etsinin daha iyi anlaşılması için aşağıdaki şekil 4.31'deki VIF grafiği elde edilmiştir. NO₂ uydu bazlı lm, Vpd, TMmx, TMmn değişkenlerinin etkin olduğu görselleştirilmiştir.



şekil 4.31. Sincan model bileşen sayısı ve VIF

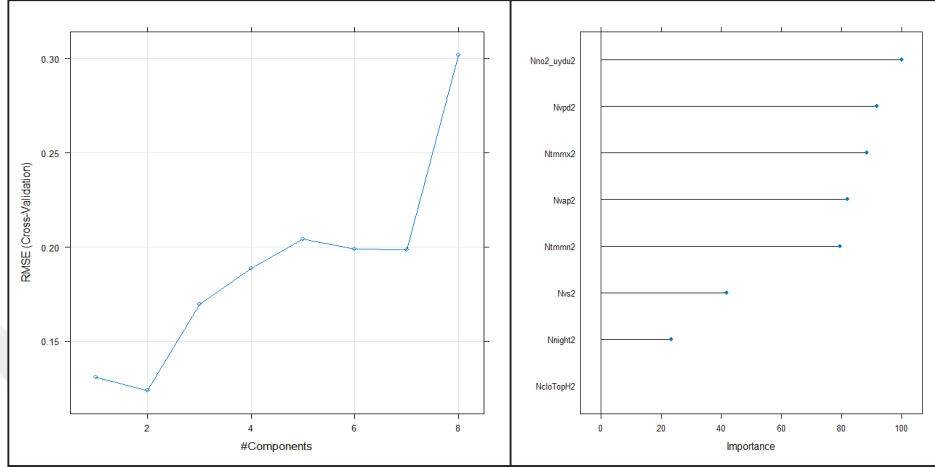
4.3.3.6. Siteler

Yukarıdaki model kurulmuş ve KEKKR metodu uygulanmıştır. Oluşturulan modelin genel raporlaması için “Summary” fonksiyonu kullanılmıştır. Aşağıdaki Çizelge 4.41’de oluşturulmuştur. KEKKR uygulanması sonucu elde edilen en uygun ana bileşen sayısı ncomp=2 olarak elde edilmiştir. Bu işlem ile açıklanması gereken bilginin %81.91 sonuç değişkenindeki değişiminin %86.91’ni açıklamıştır.

Çizelge 4.41. Siteler KEKKR model raporu

summary(model6)			
Veri: X dimension: 12 8			
Y dimension: 12 1			
Fit method: oscorespls			
Belirlenen Bileşenlerin Sayısı: 2			
TRAINING: açıklanan % varyans			
	1 comps	2 comps	
X	60.64	81.91	
.outcome	82.28	86.91	
Partial Least Squares			
12 Örnek			
8 Tahminci			
Veri İşleme: centered (8), scaled (8)			
Yeniden Örnekleme: Çapraz Doğrulandı (10 fold)			
Örnek boyutlarının özeti: 11, 11, 11, 10, 11, 11, ...			
Sonuçları ayarlama parametreleri arasında yeniden örnekleme:			
ncomp	RMSE	R Kare	MAE
1	0.1309273	1	0.1267166
2	0.1240518	1	0.1157036
3	0.1697049	1	0.1610560
4	0.1886520	1	0.1828200
5	0.2042524	1	0.1977540
6	0.1988030	1	0.1920220
7	0.1985363	1	0.1914829
8	0.3017409	1	0.2924016
En küçük değeri kullanarak en uygun modeli seçmek için RMSE kullanıldı.			
Model için kullanılan son değer ncomp= 2 .			

Modelin değişkenlerinin modele katkı etkisinin daha iyi anlaşılması için aşağıdaki şekil 4.32'deki VIF grafiği elde edilmiştir. NO₂ uydu bazlı ölçüm, Vpd, TMmx, Vap değişkenlerinin etkin olduğu görselleştirilmiştir.



şekil 4.32. Siteler model bileşen sayısı ve VIF

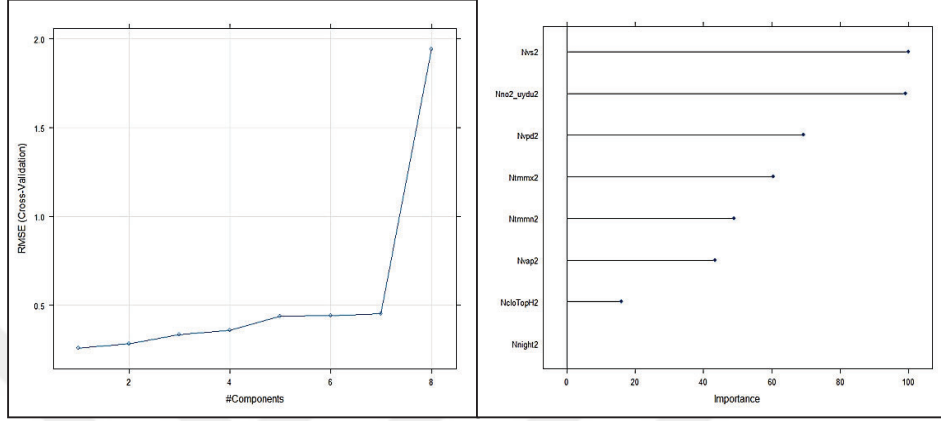
4.3.3.7. Yaygınlaştırma - Çankaya

Yukarıdaki model kurulmuş ve KEKKR metodu uygulanmıştır. Oluşturulan modelin genel raporlaması için “Summary” fonksiyonu kullanılmıştır. Aşağıdaki Çizelge 4.42’de oluşturulmuştur. KEKKR uygulanması sonucu elde edilen en uygun ana bileşen sayısı ncomp=1 olarak elde edilmiştir. Bu işlem ile açıklanması gereken bilginin %47.76’sını sonuç değişkendeki değişiminin %44.27’sini açıklamıştır.

Çizelge 4.42. Yaygınlaştırma Çankaya KEKKR model raporu

summary(model6)			
Veri: X dimension: 11 8			
Y dimension: 11 1			
Fit method: oscorespls			
Belirlenen Bileşenlerin Sayısı: 1			
TRAINING: açıklanan % varyans			
1 comps			
X	47.76		
.outcome	44.27		
Partial Least Squares			
11 Örnek			
8 Tahminci			
Veri İşleme: centered (8), scaled (8)			
Yeniden Örnekleme: Çapraz Doğrulandı(10 fold)			
Örnek boyutlarının özeti: 10, 10, 10, 9, 10, 10, ...			
Sonuçları ayarlama parametreleri arasında yeniden örnekleme:			
ncomp	RMSE	R Kare	MAE
1	0.2609172	1	0.2609155
2	0.2836535	1	0.2826207
3	0.3366127	1	0.3354174
4	0.3591192	1	0.3590906
5	0.4381272	1	0.4378024
6	0.4421007	1	0.4407406
7	0.4515817	1	0.4435498
8	1.9414965	1	1.9324909
En küçük değeri kullanarak en uygun modeli seçmek için RMSE kullanıldı.			
Model için kullanılan son değer ncomp= 1.			

Modelin değişkenlerinin modele katkı etkisinin daha iyi anlaşılması için aşağıdaki şekil 4.33'daki VIF grafiği elde edilmiştir. Vs, NO₂ uydu bazlı ölçüm, Vpd, Tmmx değişkenlerinin etkin olduğu görselleştirilmiştir.



şekil 4.33. Yaygınlaştırma çankaya model bileşen sayısı ve VIF

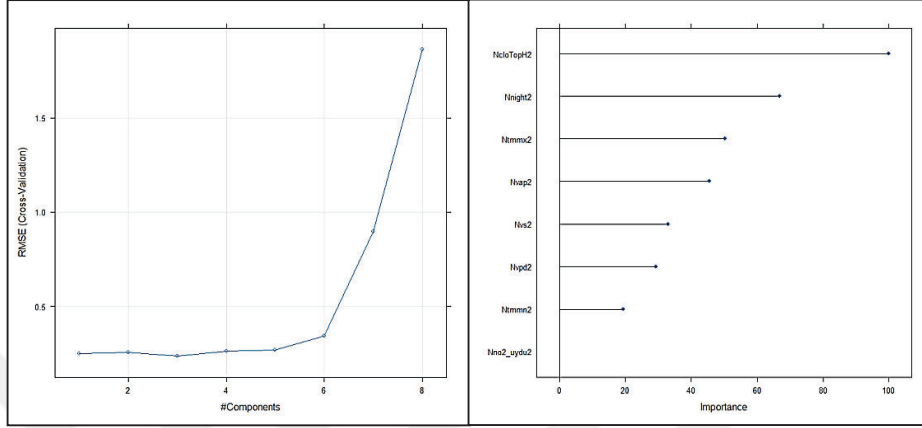
4.3.3.8. Yaygınlaştırma - Mamak

Yukarıdaki model kurulmuş ve KEKKR metodu uygulanmıştır. Bu uygulama sonucunda aşağıdaki Çizelge 4.43'deki sonuçlar alınmıştır.

Çizelge 4.43. Yaygınlaştırma Mamak KEKKR model raporu

summary(model6)			
Veri: X dimension: 11 8 , Y dimension: 11 1			
Fit method: oscorespls, Belirlenen Bileşenlerin Sayısı: 1			
TRAINING: açıklanan % varyans			
	1 comps	2 comps	3 comps
X	47.17	77.71	86.09
.outcome	56.71	77.05	88.95
Partial Least Squares			
10 Örnek, 8 Tahminci			
Veri İşleme: centered (8), scaled (8)			
Yeniden Örnekleme: Çapraz Doğrulandı (10 fold)			
Örnek boyutlarının özeti: 9, 9, 9, 9, 9, 9, ...			
sonuçları ayarlama parametreleri arasında yeniden örnekleme:			
ncomp	RMSE	R Kare	MAE
1	0.2503073	1	0.22503073
2	0.2575144	1	0.2575144
3	0.2392579	1	0.2392579
4	0.2635514	1	0.2635514
5	0.2685161	1	0.2685161
6	0.3444776	1	0.3444776
7	0.8961771	1	0.8961771
8	1.8603139	1	1.8603139
En küçük değeri kullanarak en uygun modeli seçmek için RMSE kullanıldı.			
Model için kullanılan son değer ncomp= 3.			

Modelin değişkenlerinin modele katkı etkisinin daha iyi anlaşılması için aşağıdaki şekil 4.34'deki VIF grafiği elde edilmiştir. Vs, NO₂ uydu bazlı ölçüm, Vpd, Tmmx değişkenlerinin etkin olduğu gorselleştirilmiştir.



şekil 4.34. Yaygınlaştırma Mamak model bileşen sayısı ve VIF

4.4. İstasyon Bulguların Genel Değerlendirilmesi

Yukarıda yapılmış olan istasyon bazında model irdemesinin daha iyi analiz edilebilmesi için tablolama metodu ile açıklanması yapılmıştır. İlk olarak aşağıdaki Çizelge 4.44’de bileşen sayısı açısından ele alınmıştır. Demetevler, Sincan istasyonları bileşen sayısı 5 iken diğer değişkenlerin az sayıda olması tespiti yapılmıştır.

Çizelge 4.44. İstasyon Bileşen Sayıları

No	İstasyon Adı	Bileşen Sayısı(comp)
1	Bahçelievler	2
2	Demetevler	5
3	Etimesgut	1
4	Keçiören	1
5	Sincan	5
6	Siteler	2
7	Yaygınlaştırma Çankaya	1
8	Yaygınlaştırma Mamak	3

Aşağıdaki Çizelge 4.45’de Modellerin açıklama oranları topluca gösterilmiştir. Bileşen sayıları, Hata miktarları gibi katsayıları içermektedir.

Çizelge 4.45. Açıklama Oranları

No	İstasyon Adı	ncomp	RMSE	R Kare	MAE
1	Bahçelievler	2	0.1944396	1	0.1933897
2	Demetevler	5	0.1429676	1	0.1363399
3	Etimesgut	1	0.2456207	1	0.2455994
4	Keçiören	1	0.2456207	1	0.2455994
5	Sincan	5	0.1503066	1	0.1486846
6	Siteler	2	0.1240518	1	0.1157036
7	Yayg. Çankaya	1	0.2609172	1	0.2609155
8	Yayg. Mamak	3	0.2392579	1	0.2392579

Aşağıdaki Çizelge 4.46’de modellerin bileşene göre “x” açıklama oranları topluca gösterilmiştir.

Çizelge 4.46. Modellerin bileşene göre “x” açıklama oranları

No	X		Varyans %				
	İstasyon Adı	Kaynak Tipi	Bileşen Sayısı				
			1	2	3	4	5
1	Bahçelievler	Isınma	55.30	78.79			
2	Demetevler	Isınma	58.96	79.82	91.04	94.80	97.73
3	Etimesgut	Isınma	50.64				
4	Keçiören	Isınma	50.64				
5	Sincan	Isınma	54.69	65.66	80.33	92.39	98.68
6	Siteler	Sanayi	60.64	81.91			
7	Yayg. Çankaya	Isınma	47.76				
8	Yayg. Mamak	Isınma	45.17	77.71	86.09		

Aşağıdaki Çizelge 4.47’de modellerin açıklama oranları topluca gösterilmiştir. RMSE ile MAE düşük çıkmış olması model için pozitif bir anlam taşıdığı sonucuna varılmasını sağlamıştır.

Çizelge 4.47. Modellerin bileşene göre “.outcome” açıklama oranları

No	.outcome	Kaynak Tipi	Varıans %				
			Bileşen Sayısı				
			1	2	3	4	5
1	Bahçelievler	Isınma	56.84	75.87			
2	Demetevler	Isınma	71.22	85.03	89.18	92.85	94.99
3	Etimesgut	Isınma	50.01				
4	Keçiören	Isınma	50.01				
5	Sincan	Isınma	75.55	90.94	92.17	93.23	93.54
6	Siteler	Sanayi	82.28	86.91			
7	Yayg.Çankaya	Isınma	44.27				
8	Yayg.Mamak	Isınma	56.71	77.05	88.95		

4.5. Model Performansın doğrudan S5P NO₂ uydu görüntüsü ile irdelenmesi

Model üretimi sonrasında modelin performansının irdelenmesi yapılmıştır. İşlem iki bölümde ele alınmıştır. İlk olarak istasyon noktalarında modelin üretmiş olduğu tahmin değeri ile NO₂ uydu görüntüsü verisi ve NO₂ yer verisinin ayrı ayrı model ile ilişkisi noktasal veri temelinde ele alınmıştır. İkinci bölümde ise Modelin üretmiş olduğu noktasal istasyon değeri ile Yer istasyon değerlerinin IDW metodu ile enterpolasyon haritası üretilmiştir. Bu üretilen iki harita ile doğrudan aylık uydudan elde edilen uydu görüntüsü üçlü bir şekilde oluşturulmuştur.

Bu çalışmada aşağıdaki Çizelge 4.48’de model ile NO₂ uydu görüntüsü verisi ve NO₂ yer verisinin ilişkisinin sayısal irdelenme değer tablosu bulunmaktadır. NO₂-yer verisi ilk sütun, model tahmin değeri ikinci sütun ve son sütun ise NO₂-uydu piksel değeridir. Bu sütun verileri sayesinde ikili korelasyon işlemleri yapılmıştır.

Çizelge 4.48. Yer istasyon, Uydu görüntüsü ve model Tahmin değer tablosu

	Ay	istasyon	NO ₂ -yer	model	NO ₂ -uydu
OCAK	1	Bahçelievler 1	0.210505224	0.33615933	0.000215442
	2	Demetevler 1	0.232477957	0.222542426	0.000305198
	3	Etimesgut 1	0.186688052	0.292178244	0.00028134
	4	Keçiören Sanatoryum 1	0.223897351	0.254895367	0.000210312
	5	Ostim 1	0.15485165	0.238593942	0.000313472
	6	Sincan 1	0.221972733	0.268942694	0.00025548
	7	Siteler 1	0.210745791	0.264192757	0.000251424
	8	Törekent 1	0.193063354	0.223200706	0.000209541
	9	YaygınlaştırmaM 1	0.024137933	0.193405848	0.000157159
	10	YaygınlaştırmaC 1	0.486327205	0.15661952	0.00011232
ŞUBAT	1	Bahçelievler 2	0.246752205	0.296335974	0.000299704
	2	Demetevler 2	0.244587021	0.24605056	0.00029159
	3	Etimesgut 2	0.191499603	0.241250163	0.00019106
	4	Keçiören Sanatoryum 2	0.242542104	0.277158931	0.000283982

	5	<i>Ostim 2</i>	0.241579803	0.186847793	0.000210794
	6	<i>Sincan 2</i>	0.212469931	0.219122692	0.000153478
	7	<i>Siteler 2</i>	0.208941458	0.18587549	0.000234855
	8	<i>Törekent 2</i>	0.285765837	0.187635178	0.000158255
	9	<i>YaygınlaştırmaM 2</i>	0.056214919	0.188869844	0.000224781
MART	1	Bahçelievler 3	0.21042503	0.261959727	0.000244657
	2	Demetevler 3	0.200641539	0.216549178	0.000217758
	3	Etimesgut 3	0.166800325	0.202864183	0.000163676
	4	Keçiören Sanatoryum 3	0.203448278	0.199008719	0.00019746
	5	Ostim 3	0.186206902	0.216061595	0.000229757
	6	Sincan 3	0.174659183	0.197749622	0.000127946
	7	Siteler 3	0.185805931	0.221951265	0.000228362
	8	Törekent 3	0.06339214	0.184906132	0.000130352
	9	YaygınlaştırmaM 3	0.173736971	0.217819646	0.000240493
	10	YaygınlaştırmaC 3	0.135364879	0.190791317	0.000209813
NİSAN	1	<i>Bahçelievler 4</i>	0.146551731	0.145275726	8.85281E-05
	2	<i>Demetevler 4</i>	0.151764238	0.095805002	9.88828E-05
	3	<i>Etimesgut 4</i>	0.144025664	0.115125585	6.67061E-05
	4	<i>Keçiören Sanatoryum 4</i>	0.163712913	0.114509353	9.14689E-05
	5	<i>Ostim 4</i>	0.132598244	0.108098417	7.89351E-05
	6	<i>Sincan 4</i>	0.123536488	0.119100862	4.36084E-05
	7	<i>Siteler 4</i>	0.149719322	0.092036488	0.000100588
	8	<i>Törekent 4</i>	0.12113072	0.096298399	4.71829E-05
	9	<i>YaygınlaştırmaM 4</i>	0.07726544	0.095750188	9.03194E-05
	10	<i>YaygınlaştırmaC 4</i>	0.105132317	0.072569691	6.48958E-05
MAYIS	1	Bahçelievler 5	0.117602247	0.1534988	8.70535E-05
	2	Demetevler 5	0.126303137	0.126814385	9.87556E-05
	3	Etimesgut 5	0.124258221	0.146978629	6.98039E-05
	4	Keçiören Sanatoryum 5	0.144145948	0.123848668	7.84271E-05
	5	Ostim 5	0.105613475	0.127318552	8.68768E-05
	6	Sincan 5	0.094947878	0.133715174	5.39974E-05
	7	Siteler 5	0.095709709	0.10580401	8.24795E-05
	8	Törekent 5	0.108540498	0.108946588	5.52575E-05
	9	YaygınlaştırmaM 5	0.018003209	0.131451111	8.42055E-05
	10	YaygınlaştırmaC 5	0.086246995	0.107443003	6.72008E-05
HAZİRAN	1	<i>Bahçelievler 6</i>	0.146952687	0.156725474	8.67825E-05
	2	<i>Demetevler 6</i>	0.152726539	0.128644921	8.3397E-05
	3	<i>Etimesgut 6</i>	0.129069772	0.172168662	5.83325E-05
	4	<i>Keçiören Sanatoryum 6</i>	0.176784278	0.130227435	8.38747E-05
	5	<i>Ostim 6</i>	0.081756214	0.130926677	7.05321E-05
	6	<i>Sincan 6</i>	0.104250202	0.160302725	5.02275E-05
	7	<i>Siteler 6</i>	0.126463511	0.115553228	7.86756E-05
	8	<i>Törekent 6</i>	0.060304736	0.148449912	4.67666E-05
	9	<i>YaygınlaştırmaM 6</i>	0.001323176	0.135509556	9.6012E-05
	10	<i>YaygınlaştırmaC 6</i>	0.130673612	0.114944868	9.04195E-05
TEMMUZ	1	Bahçelievler 7	0.118885325	0.14360951	6.38877E-05
	2	Demetevler 7	0.111988776	0.082631479	5.70927E-05
	3	Etimesgut 7	0.109021656	0.111357218	5.3153E-05
	4	Keçiören Sanatoryum 7	0.135284685	0.081184312	5.2304E-05
	6	Sincan 7	0.08600642	0.08774497	4.64743E-05
	7	Siteler 7	0.076303132	0.063786739	5.76874E-05
	11	Ulus Trafik 7	0.285404986	0.116307006	6.70828E-05
	9	YaygınlaştırmaM 7	0.000801925	0.083361964	6.02425E-05
	10	YaygınlaştırmaC 7	0.112429837	0.055944361	5.71356E-05
AGUSTOS	1	<i>Bahçelievler 8</i>	0.173215716	0.156943113	0.000112201
	2	<i>Demetevler 8</i>	0.140376908	0.140418824	9.77821E-05
	3	<i>Etimesgut 8</i>	0.163231763	0.133631965	8.24056E-05
	4	<i>Keçiören Sanatoryum 8</i>	0.158059345	0.159937647	8.49235E-05
	6	<i>Sincan 8</i>	0.116880514	0.032853252	6.43137E-05

	7	Siteler 8	0.098877307	0.184362174	8.78995E-05
	11	Ulus Trafik 8	0.315437055	0.205914957	0.00011291
	12	Yaşamkent 8	0.098596634	0.115427239	6.80142E-05
	9	YaygınlaştırmaM 8	0.000561348	0.187752591	9.08924E-05
	10	YaygınlaştırmaC 8	0.205773867	0.165221034	9.20327E-05
EYLÜL	1	Bahçelievler 9	0.208340024	0.214539273	0.000132618
	2	Demetevler 9	0.174939855	0.166863987	0.000113284
	3	Etimesgut 9	0.224178038	0.218358032	0.000101156
	4	Keçiören Sanatoryum 9	0.184041702	0.163629605	9.7047E-05
	6	Sincan 9	0.135324789	0.200623469	8.60948E-05
	7	Siteler 9	0.142582198	0.154166128	0.000104234
	8	Törekent 9	0.066720127	0.158126264	7.20343E-05
	11	Ulus Trafik 9	0.287650365	0.189622617	0.000129432
	12	Yaşamkent 9	0.126623899	0.151275961	8.84855E-05
	9	YaygınlaştırmaM 9	0	0.159351823	0.000106663
	10	YaygınlaştırmaC 9	0.287209304	0.142583126	0.000102403
EKİM	1	Bahçelievler 10	0.340457095	0.350514674	0.00019485
	2	Demetevler 10	0.267963131	0.308363049	0.000202689
	3	Etimesgut 10	0.257337623	0.356046348	0.000206163
	4	Keçiören Sanatoryum 10	0.355573391	0.30064353	0.000171392
	6	Sincan 10	0.196912588	0.31271239	0.000185084
	7	Siteler 10	0.190096241	0.298797504	0.000162188
	8	Törekent 10	0.139935847	0.287708353	0.000174423
	11	Ulus Trafik 10	0.41555735	0.334513461	0.000210726
	12	Yaşamkent 10	0.202606261	0.305383972	0.000156848
	10	YaygınlaştırmaC 10	0.575140364	0.278422072	0.000138303
KASIM	1	Bahçelievler 11	0.467361674	0.363936134	0.000268803
	2	Demetevler 11	0.308861275	0.313659644	0.000303455
	4	Keçiören Sanatoryum 11	0.500721737	0.28412972	0.000243334
	6	Sincan 11	0.247313566	0.288726738	0.00025653
	7	Siteler 11	0.234202096	0.269399408	0.000227858
	13	Sıhhiye 11	0.519767478	0.390410397	0.000258764
	11	Ulus Trafik 11	0.538331991	0.377440995	0.000268975
	12	Yaşamkent 11	0.2468324	0.277040661	0.000216375
	10	YaygınlaştırmaC 11	1	0.255283182	0.000210497
ARALIK	1	Bahçelievler 12	0.283159576	0.372938751	0.000158625
	2	Demetevler 12	0.217923021	0.340310468	0.000220966
	3	Etimesgut 12	0.329149959	0.327710969	0.000159058
	4	Keçiören Sanatoryum 12	0.371732167	0.303345722	0.000201152
	6	Sincan 12	0.162189253	0.303883265	0.000143261
	7	Siteler 12	0.168203687	0.298203028	0.00017458
	13	Sıhhiye 12	0.556696073	0.404239722	0.000178176
	8	Törekent 12	0.224578995	0.284471996	0.000133019
	11	Ulus Trafik 12	0.42040899	0.37473831	0.000189614
	12	Yaşamkent 12	0.157377717	0.280325117	7.80078E-05
	9	YaygınlaştırmaM 12	0.602846814	0.308344554	0.000113039
	10	YaygınlaştırmaC 12	0.286647959	0.270692543	7.67925E-05

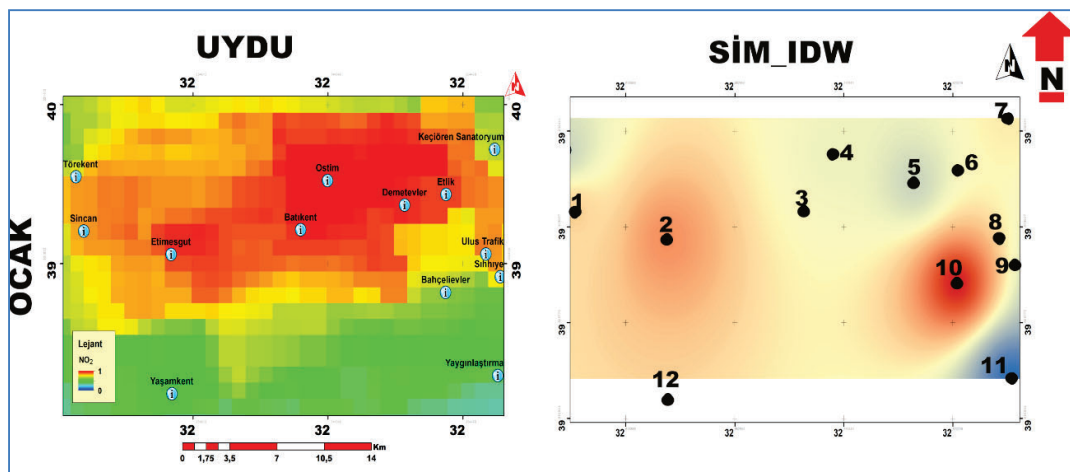
Üçlü tablodan yararlanarak Yer verisi ile model verisi sütun değerleri ve Yer verisi ile Uydu verisi sütun değerleri istasyon bazında ikili korelasyon değerleri irdelenmiştir. Örnek olarak, Bahçelievler'in aylık değerleri aşağıdaki Çizelge 4.49'da gösterilmiştir. 12 aylık Bahçelievler istasyonu verisini içeren tablodur. Bu işlemler aynı

şekilde diğer istasyonlar içinde uygulanmış ve ikili korelasyon değerleri bulunmuştur. Bahçeli istasyonu için Yer istasyon verisi ile model arasında 0.70 ve Yer istasyon verisi ile Uydu verisi arasındaki korelasyon 0.50 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.49. Yer verisi ile Model verisi - Yer verisi ile Uydu verisi ikili korelasyon tablosu

<i>Yer - Model:0.70</i>		<i>Yer -Uydu: 0.50</i>	
istasyon	NO₂ yer	Model Tahmin	NO₂ Uydu
Bahçelievler 1	0.210505224	0.336159	0.000215442
Bahçelievler 2	0.246752205	0.296336	0.000299704
Bahçelievler 3	0.21042503	0.26196	0.000244657
Bahçelievler 4	0.146551731	0.145276	8.85281E-05
Bahçelievler 5	0.117602247	0.153499	8.70535E-05
Bahçelievler 6	0.146952687	0.156725	8.67825E-05
Bahçelievler 7	0.118885325	0.14361	6.38877E-05
Bahçelievler 8	0.173215716	0.156943	0.000112201
Bahçelievler 9	0.208340024	0.214539	0.000132618
Bahçelievler 10	0.340457095	0.350515	0.00019485
Bahçelievler 11	0.467361674	0.363936	0.000268803
Bahçelievler 12	0.283159576	0.372939	0.000158625

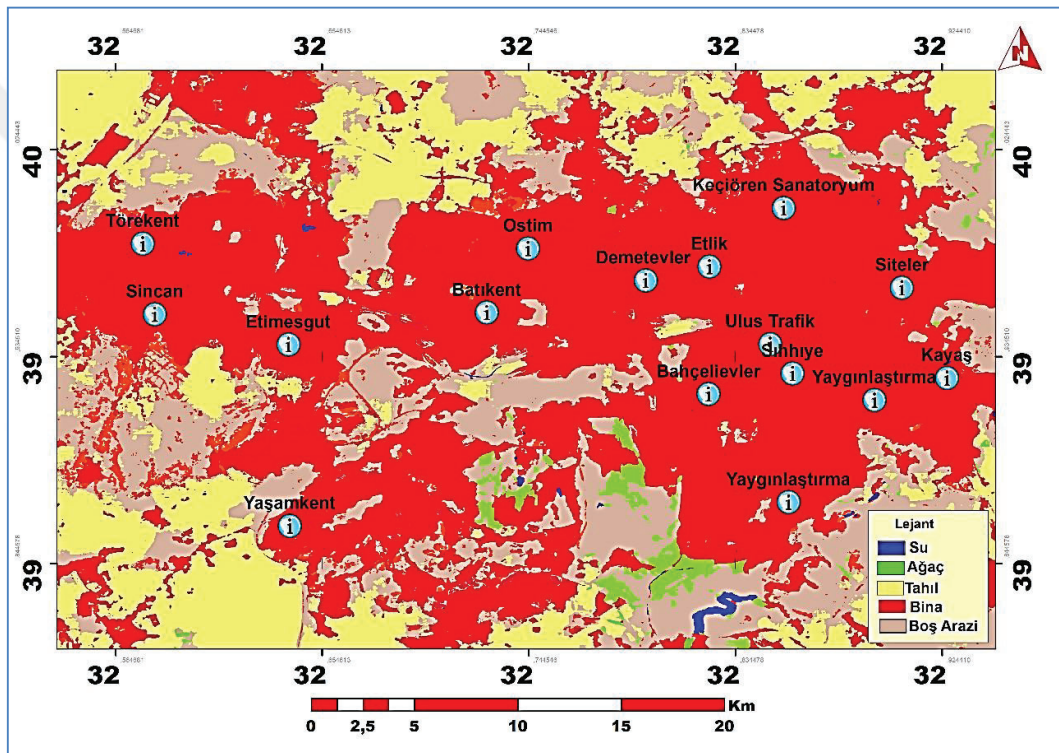
Ocak 2021 yılına ait S5P uydusunda uydu bazı NO_2 mekânsal dağılım haritaları ve SİM'den elde edilen NO_2 mekânsal dağılım haritaları üretilmiştir. Aşağıdaki Şekil 4,35'de kıyaslanacak şekilde yan yana olacak şekilde oluşturulmuştur. Diğer veri setleri ve modele ait üretilmiş NO_2 mekânsal dağılım haritaları ise tartışma kısmında verilmiştir.



Şekil 4.35. Uydu görüntüsü ve SİM enterpolayan NO₂ dağılım haritaları

4.6. Hava Kirliği İle Arazi Kullanım İlişkisinin İrdelenemsi

Çalışma bölgesinde arazi kullanımı ile hava kirliliği ilişkisinin anlaşılabilmesi ve tartışma bölümünde bu konuda yorum yapılması amacıyla çalışma alanın Kopernik arazi izleme servisinininden elde edilen 9 sınıflı arazi kullanımı haritası oluşturulmuştur. Aşağıdaki Şekil 4.36'da istasyon bilgileri ve arazi kullanım tipleri görülmektedir. Kopernik arazi kullanım verisi ile oluşturulan harita 10 m hassasiyetinde bina, su, boş arazi, ağaç alanlarını ve istasyon bilgileri gösterecek şekilde oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan istasyonların yapılaşma alan içinde olduğu ve farklı arazi tipinde olmadıkları tespiti yapılmıştır.



Şekil 4.36. Kopernik arazi kullanım haritası(Sentinel Hub’ın açık kaynak platformdan yararlanarak düzenlenmiştir.)

5. TARTIŞMA

SİM istasyon yer verisinin bağımlı değişken, açık kaynak platformlarından elde edilen verilerin ise bağımsız değişkenler olarak ele alındığı model yapısı tasarlanmıştır. NO₂ uydu görüntüsü bağımsız değişkenler içerisinde öncelikli veri olarak belirlenmiştir. Son yıllarda NO₂ uydu verisi ile yapılan çalışmalarda yersel SİM verisi ile yüksek korelasyon ilişkisi tespit edilmiştir (Kaplan 2020; Prunet 2020; Verhoelst 2021; Sünsüli 2022). ÇDR, TBR ve KEKKR metotları kullanımı ile dolaylı yoldan NO₂ kirlilik dağılım altlığı oluşturma çalışması gerçekleştirilmiştir.

Ünal ve Özel (2022), Bolu ilinde yapmış oldukları çalışmada, NO₂ yersel ölçümlerine ilişkin olarak uydu görüntüleri ile korelasyon yapılabileceğine dair çıkarımda bulunmuşlardır. Ancak söz konusu korelasyon varlığının çalışma alanında her bir istasyon için ve farklı zaman aralıklarında elde etmenin farklı çevresel faktörlere bağlı olduğundan oldukça zor olduğu tespit edilmiştir. Çevresel faktörler olarak çalışmalarında ele alınamayan rüzgar yönü ve hızı, anlık buhar basıncı, anlık en düşük ve en yüksek sıcaklık gibi parametreler sayılabilir.

Çalışmada kullanılan SİM verileri yer yüzeyinden 1.5 – 4 m arası yükseklikte konumlandırılmış olup topografya ile paralel şekilde bulunmaktadır. Dolayısıyla ölçümlerin sadece belirli atmosfer seviyesinde yapılabildiği görülmektedir. Bununla birlikte SSP uydu verisi ve Terra Climate Veri Platformundan elde edilen verilerin yeryüzeyinden atmosferin en üst katmanına kadar olan kolon derinliğinde veri seti elde edilmektedir. Bu nedenle yersel veri ile uydu görüntüsü bazlı verilerin denestirilmesi ve korelasyonu oldukça güç olmaktadır. Bu çalışmada elde edilen korelasyon değerlerinin kolon veriye karşılık gelen değerler ile üretildiğini göz önünde bulundurmakta fayda vardır (Prunet 2020).

SİM istasyonlarının hem hassasiyet hem de konumsal yetersizliği günümüze kadar önemli bir problem olduğu tespiti bilimsel çalışmalarda ifade edilmiş ve problemin çözümünde uzaktan algılama metotlarının kullanılması önerilmiştir (Zeydan 2012).

Çalışma sahası olarak seçilen Ankara ili toplam SİM istasyonu sayısı ve dağılımı bakımından mekânsal veri üretmeye uygun olduğu için seçilmiştir. Ayrıca kıyı alanlarına olan uzaklığı iklimsel olarak karasal iklim hâkimiyetinin olması nemlilik parametresinin etkisini en aza indireceği içinde tercih sebebi olmuştur. Bu çalışma kıyı kesiminde bir bölge durumunda yapılıyorsa, kıyıya yakın ve içerideki istasyonların bariyer görevi gören fiziksel engellere göre ayrılması ve farklı modeller üretilmesi çözülmesi beklenirdi. Ancak çalışmada kullanılan ÇDR, TBR ve KEKKR yöntemleri yine benzer şekilde farklı bir alana uygulanması mümkündür.

Literatür olarak ele alındığında deterministik yöntemler, temel istatistiksel yöntemler ve son yıllarda istatistiğin gelişmiş bir yapıda uygulaması olan makine öğrenme yöntemleri kullanılarak mekansal hava kalitesi modelleme yöntemleri ile çözüm üretilebileceği tespiti yapılmıştır. Makine öğrenmesi metotları, deterministik yöntemler ve temel istatistiksel yöntemler ile kıyaslandığında hesaplama miktarında azalma, performans artışı ve çoklu doğrusallık sorunlarını çözümüyle ön plana çıkmaktadır.

Başakşehir ilçesinde yapılmış olan çalışmada hava kirliliğın farklı metot performans değeriendirilmesi örneğinde NO₂ kirletici tahmininde en yüksek başarı ÇDR metotunda olmuştur. Bu çalışmada da aynı şekilde ÇDR en yüksek oran olarak bulunmuştur. Ancak farklı olarak çoklu bağlantı sorunu varlığı bu çalışmada tespit edilmiş ve bu sorunun çözümü için TBR ve KEKKR metotları uygulanmıştır. (Ünaldı 2022)

Çalışma üç aşamadan oluşmuştur. Bunlar ÇDR (Klasik Regresyon, Adımlama Metotu), TBR ve KEKKR olarak üçe ayrılmıştır. Çalışmayı açıklayan akış diyagramında bu işlemler ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Çalışmada yer seçimi ilk işlem olarak yapılmıştır. Çalışma alanı yer seçiminde insan nüfus fazlalığı, sanayi ve ülkenin önem arz eden şehirlerinden olması kriter olarak ele alınmıştır (Çakır 2022). İstanbul, Ankara, , İzmir, Bursa, Antalya, illeri nüfus açısından öne çıkan iller olarak belirlenmiştir (TUİK, 2022). Bu illerin içinde en iyi SİM istasyon dağılımı İstanbul ve Ankara olarak belirlenmiştir. Çalışmalarda model oluşumunda veri yeterliliği modelin doğruluğunu etkilemesi nedeniyle SİM yeterliliği en önemli kriter olarak ele alınmıştır. İstanbul deniz kıyısı olması, karmaşık rüzgar sistemi, yerleşim doku karakteristiğinin karmaşık yapısı gibi birden çok karmaşık girdisi ihtiva etmesi nedeniyle daha az karmaşık girdileri olan Ankara tercih edilmiştir.

Çalışmada ilk metot olarak ÇDR bölümünde farklı metotlar ile oluşturulan modellerin Düzeltilmiş R kare değeri en düşük 0.27 en yüksek 0.33 aralığında elde edilmiştir. Adımlama metodu ile bir miktar artış ile 0.34 değerine ulaşılmıştır.

Çalışmada ikinci metot olarak Çoklu doğrusallık nedeniyle geçiş yapılan TBR metodunda ise üç bileşen ile Düzeltilmiş R kare 0.48 değeri elde edilmiştir. TBR metodu kullanımı ile oluşturulan model NO₂ yersel ölçüm değışkenini %86.63 açıkladığı ve önceki sonuçlara göre daha iyi bir sonuç elde edilmiştir.

Çalışmada üçüncü ve son metot olarak KEKKR metodu uygulanmıştır. TBAR metodunun bileşenlerini sonuçla ilişkilendirilememesi ve TBAR metodunun denetimsiz yapısı nedeniyle KEKKR metoduna geçiş yapılmıştır. KEKKR metodu iki tür olması nedeniyle iki metot ile de uygulaması yapılmıştır ve sonuçlar elde edilmiştir. İlk KEKKR metodu olarak oluşturulan üç (3) bileşenli model, düzeltilmiş R kare 0.33 değeri ile NO₂ yersel ölçüm değışkenini %80.27 açıkladığı tespiti yapılmıştır. En son uygulanan Hiper Parametre KEKKR metodu kullanımı ile oluşturulan üç (3) bileşenli model, düzeltilmiş R kare 0.53 değeri ile NO₂ yersel değışkenini %84.65 açıkladığı tespiti yapılmıştır. ÇDR, TBAR ve KEKKR metotları ile alınan sonuçlar bize model çalışmamızın modelin açıklama oranlarını yükselmesini sağladığı tespit edilmiştir. Düzeltilmiş R kare 0.53 değeri ile en yüksek Hiper Parametre KEKKR metodunun en uygun model olduğu belirlenmiştir.

Çalışma bu aşamasından sonra istasyon bazında ele alınmıştır. Bu değeriendirme ile model istasyon x açıklama oranı açısından en düşük Yaygınlaştırma-Mamak ve Yaygınlatırma – Çankaya (47.76) istasyonunu (%45.17) en düşük değeri almıştır. Demetevler (97.73) ve Sincan istasyonu (%98.67) en yüksek değeri elde etmiştir. Model outcome açısından Yaygınlaştırma - Çankaya istasyonunu (%44.27) en düşük değeri elde etmiştir. Demetevler (94.99) ve Sincan istasyonu (%93.54) olarak en yüksek değeri elde edilmiştir. Bu çalışmada fit metot oscorespls ve Bootstrapped (25

reps) kullanıldığında ncomp:1, RMSE: 0.3164290, R Kare: 0.41 ve MAE: 0.2570075 sonuçları alınmıştır. Aynı modelde, fit metot oscorespls ve Cross-Validated (10 fold) kullanıldığında ncomp:1, RMSE: 0.2440029, R Kare: 1 ve MAE: 0.2343400 sonuçları elde edilmiştir. Bu örnek irdelene için Yaygınlaştırma - Çankaya istasyonu verisi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar model çalışmasında istasyon bazında çalışmalarda sonuçların ayrıca ele alınması ve değerlendirilmesi gerekliliği sonucuna varılmıştır.

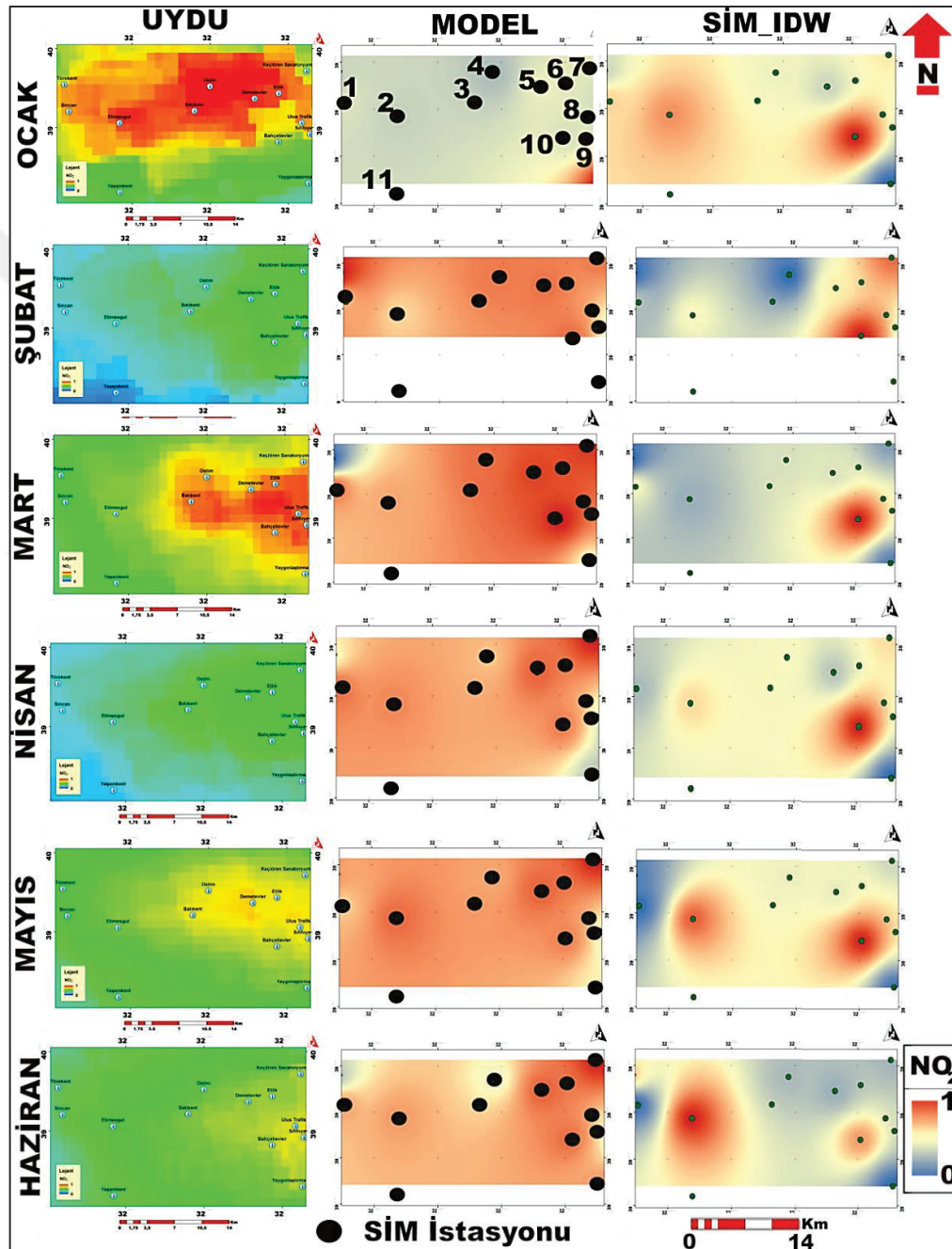
Çalışmanın veri setimizdeki NO₂ yer ve NO₂ uydu görüntüsüne ek olarak model tahmin verisi üçüncü bir veri sütunu oluşturacak düzende Çizelge 4.48’de olarak (Yer istasyon, Uydu görüntüsü ve model Tahmin değer tablosu) olarak üretilmiştir. Bu veri setinden yer istasyon ve model tahmin noktasal değerleri IDW enterpolasyon metodu ile Şekil 5.1 (2021 yılı ilk altı ayın Uydu görüntüsü, Model tahmin enterpolasyon ve SİM enterpolasyon ve NO₂ dağılım haritaları) ve Şekil 5.2 (2021 yılı ikinci altı ayın Uydu görüntüsü, Model tahmin enterpolasyon ve SİM enterpolasyon metotlu NO₂ dağılım haritaları) üretilmiştir. Bu iki mekânsal atlık NO₂ uydu görüntüsü ile üçlü görsel değerlendirmeye tabi tutulmuştur. İstatiksel hava kirliliği çalışmaları ile hava kirlilik haritalaması çalışmalarını birlikte değerlendirmesi çalışmayı diğer çalışmalardan ayırıcı nitelik kazandırmıştır.

Çalışmada bu görsel üçlünün değerlendirilmesi sonrasında sayısal değerlendirme olarak Çizelge 5.1’de (istasyonların SİM enterpolasyon – Model ve SİM enterpolasyon – Uydu ikili korelasyon tablosu) sayısal sonuçlar elde edilmiştir.

Çalışmada kullanılan veri setlerine ait mekânsal çözünürlükler 463.83 m ile 4638.3 m arasındadır. Dolayısıyla nokta bazlı SİM veri setleri ile mekânsal korelasyonların yapılması işlemini güçleştirmektedir. Bu nedenle çalışmada sadece enterpolasyon değerleri ile değil, nokta bazlı SİM verileriyle de aynı noktaya düşen uydu bazlı verilerin piksel değerlerine ait korelasyon katsayıları elde edilmiş ve irdelenmiştir.

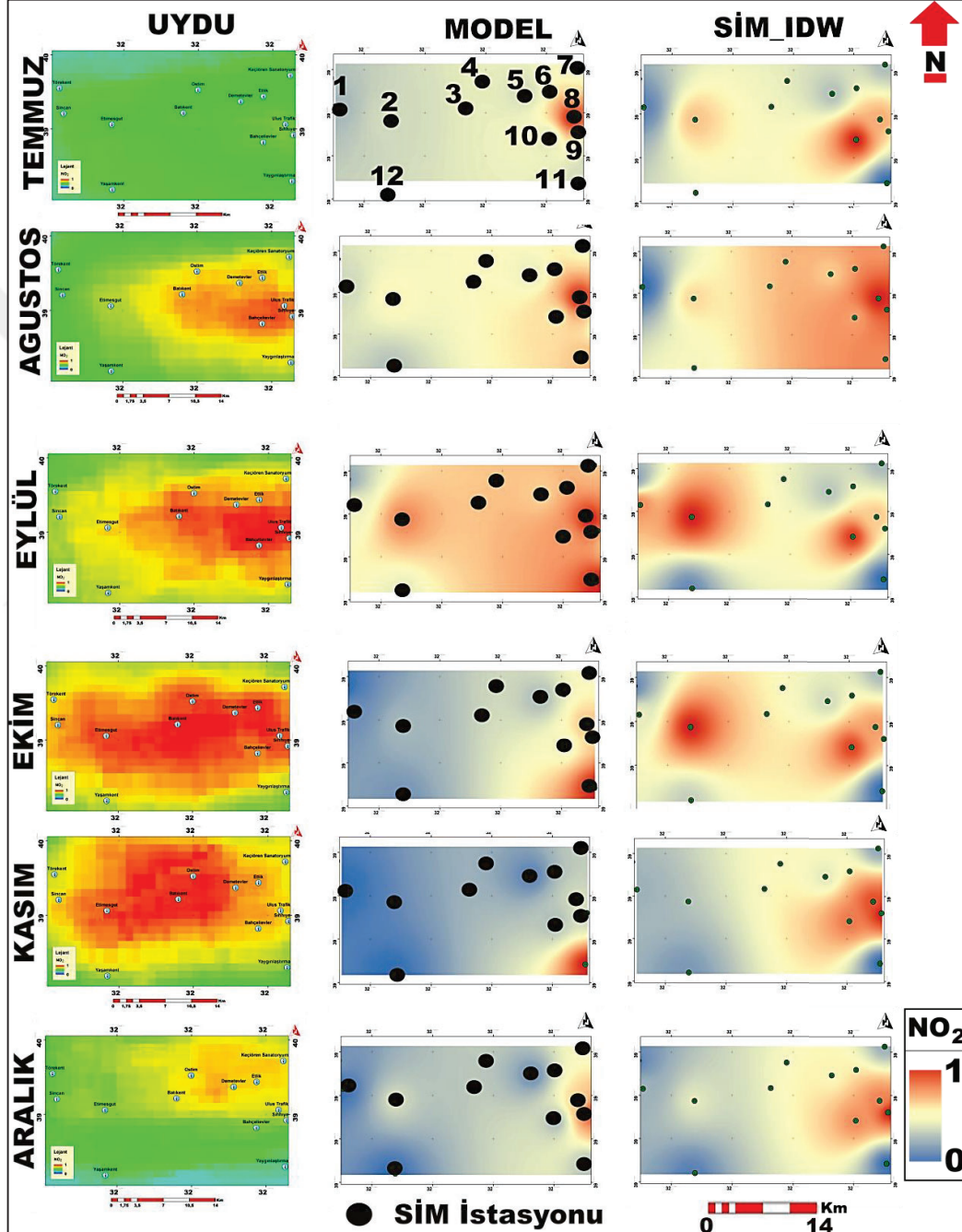
Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’deki istasyonlar numaralandırılmışlardır (1: Sincan, 2: Etimesgut, 3: Batıkent, 4: Ostim, 5: Demetevler, 6: Etlik, 7: Senatoryum, 8: Ulus, 9: Sıhhiye, 10: Bahçelievler, 11: Yaşamkent).

Model ile NO₂ uydu görüntüsü verisi ve NO₂ yer verisinin ilişkisini görsel irdelenmesi yapılmıştır. Birinci 6 aylık haritalar Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Mayıs, Haziran olacak şekilde aşağıda Uydu, Model ve SİM istasyon verilerinden oluşan haritalar aşağıdaki Şekil 5.1’de görülmektedir. Birinci 6 aylık üçlü dağılım haritaları irdelenmesi sonucunda Şubat, Mart, Nisan aylarında uyumlu dağılım görsel olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5.1. 2021 yılı ilk altı ayın Uydu görüntüsü, Model tahmin enterpolasyon ve SİM enterpolasyon ve NO₂ dağılım haritaları

İkinci 6 aylık haritalar Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim, Kasım, Aralık olacak şekilde aşağıda Uydu, Model ve SİM istasyon verilerinden oluşan haritalar aşağıdaki Şekil 5.2’de görülmektedir. İkinci 6 aylık üçlü dağılım haritaları irdelenmesi sonucunda Ağustos, Eylül, Ekim ve Aralık aylarında uyumlu dağılım görsel olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5.2. 2021 yılı ikinci altı ayın uydu görüntüsü, model tahmin enterpolasyon ve sim enterpolasyon metotlu no₂ dağılım haritaları

Yukarıda elde edilen üçlü haritalardan model dağılım haritasının, yer istasyon dağılım ve uydu verisi dağılım haritası ile ikili görsel kıyaslamasında model yer dağılım haritasının istasyon dağılım haritası ile daha iyi uyumlu olduğu tespiti görsel olarak tespit edilmiştir. Referans verisi olarak yer istasyon verisi alınması nedeniyle bu çalışma ortaya konan modelin SİM interpolasyon haritasına göre görsel olarak daha uyum göstermesi çalışmanın nihai hedefine ulaştığının bir göstergesi olduğu tespiti yapılmıştır.

Model başarısının değerlendirilmesinde noktasal istasyon değerleri üzerinden işlemler yapılmıştır. Yukarıdaki “Model ile NO₂ uydu görüntüsü verisi ve NO₂ yer verisinin ilişkisinin sayısal irdelenmesi” bölümünde elde edilmiş olan noktasal istasyon veri tablosundaki istasyon değerleri kendi içinde ele alınmış ve aşağıdaki Çizelge 5.1’de elde edilmiştir. Çizelgedeki koyu yeşil renk ile yüksek korelasyon değeri gösterilmiştir. Açık renk ise düşük korelasyon değerini ifade etmiştir. Kırmızı renk ile aradaki ilişkinin düşüklüğü gösterilmiştir. Mavi renk ile de arada ilişki varlığı olduğu gösterilmiştir. Son sütunda ise istasyonun ısınma tipi ve anlık iletim özelliği gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. istasyonların SİM interpolasyon – Model ve SİM interpolasyon – Uydu ikili korelasyon tablosu

İstasyon	SİM&Model T.	SİM&Uydu G.	Fark	Yüzde	Kirletici Tipi
Bahçelievler	0.70	0.50	0.20	20%	I
Demetevler	0.80	0.80	0.00	0%	I
Etimesgut	0.72	0.28	0.44	44%	I
Keçiören Sanatoryum	0.68	0.47	0.21	21%	I
Sincan	0.62	0.90	-0.28	28%	I+S+A
Siteler	0.56	0.85	-0.29	29%	I+S+A
Törekent	0.21	0.37	-0.16	16%	S
YaygınlaştırmaM	0.62	0.02	0.60	60%	I
YaygınlaştırmaC	0.46	0.40	0.06	6%	I
Ulus Trafik	0.82	0.91	-0.09	9%	T
Isınma : I, Sanayi: S, Trafik: T, Anlık iletim: A					
SİM : Sürekli izleme merkezi , Model T: Model tahmin, Fark: (SİM&Model T. - SİM&Uydu G.)					

Yukarıdaki Çizelge 5.1’de bulgulardan ısınma kaynağının yanı sıra sanayi ve trafik gibi özelliklerin modeli önemli derece negatif etkilediği tespiti yapılmıştır. Yüksek kirletici etkisi olan trafik ve sanayi kaynaklarına tek bir istasyon ile veri toplanamayacağı çıkarımı bu bulgu ile yapılmıştır. Bu çalışmanın tespitlerinden biri olan yersel istasyon yetersizliği tespiti bu bulgu ile de vurgulanmıştır.

Çalışmada ölçüm yapılan istasyonların arazi kullanım tipleri kopernik açık kaynak platformundan 10 m hassasiyetle elde edilmiş ve Şekil 4.36’da haritalandırılması yapılmıştır. Elde edilen harita bize denek olarak işleme tabi tutulan istasyonların hepsinin aynı arazi sınıflandırılmasında olduğunu ortaya koymuştur. Bu elde edilen sonuç ile hava kirliliğindeki modelimizde değişken olarak dahil edilmeyen arazi kullanım özelliğinin etki etmediğini ortaya konmuştur. Modelin güvenilirliğini artıran bir durum olduğu tespiti yapılmıştır.

NO₂ ve diğer kirletici gazların mekânsal dağılım altlıklarının oluşturulması konusunda bir çok çalışma literatür taramasında irdelenmiştir. Bu çalışmada özellikle model veri beslemesinin diğer çalışmaların aksine açık kaynak veri platformlarından elde edilmesi modeli hem ekonomik hem de kurumsal bürokrasi engelinden arındırmıştır (Witz vd 1982; Etikan 1996; Pio 1989; Çiçek vd. 2004; Taş 2006; Can 2015; Abdullahi 2017; Tığlı 2019; Afrin 2020; Okkaoğlu 2020; Yavuz 2020; Naethe 2022).

Açık kaynak platformundan elde edilen verilerin, uzaktan algılama ve istatiki teknikler kullanılarak meteorolojik mekânsal bilgi sistemi oluşturulması amacıyla NO₂ kirleticisinin mekânsal dağılım altlıklarını yüksek hassasiyetle sonuç olarak ortaya koymak amacıyla oluştural model birçok alanda da kullanılmaktadır. Modelin kullanmış olduğu KEKKR metodu çok sayıda değişkenli yapıyı daha az sayıda değişkene dönüştürerek boyut azaltmıştır. KEKKR metodu önceki çalışmalar da olduğu gibi bu çalışmada da daha iyi tahmin yürüttüğü tespit edilmiştir (Chen 2022)

Konu ile ilgili yapılan çalışmalarda makine regresyon metotları uygulaması farklı regresyon metotları ile yapılmıştır. Bu çalışma regresyon metotlarına bütüncül bir yaklaşım metodu getirmiş ve modeli ÇDR, TBR ve KEKKR sırasında ve geçiş gerekçelerin raporlanması yapısı ile oluşturulmuş olması çalışmayı özgün kılmaktadır (Tığlı 2019; Can 2015).

6. SONUÇLAR

Günümüzde hava kirliliği ölçümleri yersel istasyon bazında ölçüm yapmaktadır. Bu çalışma ile klasik ölçüm uygulamasının, bilimsel yaklaşım metotlarıyla geliştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma sonucu istatiki metotların ve açık kaynaklı verilerin kullanılmasını sağlayan yeni bir model yaklaşımı getirmeyi hedeflenmiştir.

Modelin belirgin özelliği güncel uydu olan S5P'in NO₂ uydu görüntüsü ve literatür taramasında öne çıkan meteorolojik katmanların kullanılması olmuştur. NO₂ mekansal dağılım altlığının düşük hassasiyetinin artırılması işlemi model kullanımı ile gerçekleştirilmiştir. Model az veri ile çalışma imkanı veren KEKKR metodu ile oluşturulmuştur. Üretilen model ile çoklu bağlantı problemi önlenmiş ve gizli değişken oranları tespit edilmiştir.

Çalışma amacımız doğrultusunda Ankara ili seçilmiştir. Bu amaca yönelik elde edilen bulgular göstermiştir ki, NO₂ kirleticisine yönelik olarak elde edilen yer istasyon verilerin uydu bazlı veriler ile korelasyonunun yapılabilişliğinin mümkün olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada kullanılan ÇDR (%0.49), TBR (%86,63) ve KEKKR (%84.57) korelasyonları da göstermiştir ki en düşük ve en yüksek korelasyon değerleri %0.49 ve % 86,63 olarak sırasıyla elde edilmiştir.

Çalışmada ilk olarak ilgili literatüre taraması yapılmıştır. Konu yasal ve mühendislik konuları açısından iki ayrı şekilde irdelenmiştir. Hava kirliliğinin önemli bir kirleticisi olan NO₂'nin hassas mekansal dağılımı birçok değişken yardımıyla modellenmesini sağlayan metot ortaya konulmuştur. Modelin oluşturulmasında açık kaynak veri platformlarının kullanımına dikkat edilmiştir. S5P (NO₂ uydu görüntüsü, Alınan bulut optik derinliği), TERRACLIMATE (en düşük sıcaklık, en yüksek sıcaklık, buhar basıncı, buhar basıncı açığı, rüzgar hızı) ve NOAA/VIIRS (Ortalama Işık Parlaklık Değeri) açık kaynak platformlarının verileri kullanılmıştır. Verilerin kolay ulaşılabilir ve ekonomik olmaması modeli kullanılabilirliğini güçlendirmiştir. Çalışmaya özgünlük getirmiştir. Günümüzde yazılım kütüphanelerin gelişmesi ile yaygınlaşan makine öğrenme metotlarından KEKKR metodu sonuç model olarak seçilmiştir. Çalışmanın bir diğer özgünlüğü önceki çalışmalara atıf yapılarak doğrudan KEKKR metoduna geçiş yapılmamıştır. Geçmişte kullanılan klasik regresyon, adım regresyon ve TBR metotları ele alınmış ve bulgular elde edilerek yorumlanmıştır. Bu işlem sonrasında elde edilen sonuçlar gerekçe gösterilerek nihai metot KEKKR uygulanmıştır. Bu çalışma metodu ile metotları birbirleri ile kıyaslama ortamı yaratılmıştır. Bu çalışmayı özellik güçlendirmiştir.

Bu çalışmada kullanılan veriler en düşük çözünürlük katmanına göre belirlendiği için çözünürlük 4638.3 metre gibi yüksek çözünürlüklü bir çalışma altlığı olmaması çalışmanın en önemli sınırlılıklarından biridir. Çalışmada kullanılan S5P uydusunun veri üretmeye 28.06.2018 tarihinden itibaren başlaması zamansal sınırlılık getirmiştir. SİM istasyonlarının ise veri üretiminde belli zamanlarda veri alınmamış olması nedeniyle yersel veride zamansal kısıtlılıklar meydana gelmiştir. İki ana veri olan NO₂ yersel ölçüm ile NO₂ uydu temelli ölçüm verisinin ikisinde verisi olduğu ortak zaman dilimi belirlenerek seçilmiştir. Bu kısıt zamansal kısıt olarak ifade edilmiştir. Zamansal sınırlılık önemli bir kısıt meydana getirmiştir. 2021 yılı en uygun veri içeren zaman dilimine sahip olması nedeniyle seçilmiştir.

Çalışmada ilk olarak ÇDR metodu farklı bakış açıları ile irdelenmiştir. ÇDR metod uygulamasında çoklu bağlantı sorunu tespiti ile TBR metoduna geçilmiştir.

Çalışmada çok fazla değişkenimiz olmasının yanı sıra az sayıda gözlem setimizin olması uygulamada boyut indirgeme metodunu seçmemize gerekçe olmuştur. (Hoffman vd., 2009). Boyut indirgeme ile veri setimizdeki az sayıda olan gözlem ile çalışmak mümkün olunmuştur. Boyut indirgeme ile n boyutlu veri setimizdeki n değişkenlerimizin değişim boyutu büyük oranda açıklanmıştır.

Tahmin değişkenleri ile yanıt değişkenleri arasındaki güçlü korelasyon olması durumunda KEKKR metodu TBR metoduna göre performansı yüksek olduğu tespitleri yapılmıştır. Tahmin değişkenlerinin birbirleriyle yüksek ilişkili olması ve yanıt değişkeni ile arasında düşük ilişki durumunda TBR metodu KEKKR metoduna göre daha performansı yüksek olduğu tespit edilmiştir. %49 korelasyon değeri elde eden ÇDR metodundan daha az bileşenle %84.57 gibi yaklaşık iki kat gibi yüksek oranla KEKKR metodu başarılı bir sonuç elde etmiştir.

Tüm insanlığı tehdit eden hava kirliliği hava olayları ile taşınma özelliği nedeniyle ulusal bir sorun olmaktan çıkmış ve evresel bir sorun haline gelmiştir. Bu nedenle uluslararası anlaşmalarda uzaktan algılama teknolojisi ve açık kaynak platformlu veri kaynak ortamlarının ihtiyaç duyulması gerektiği sonucu çıkarılmıştır (Prunet 2020). Çalışma kullandığı verileri açık kaynak platformlarından elde etmesi, istatiki ve uzaktan algılama metodları kullanması çalışmayı bu anlamda kıymetli kılmaktadır.

Çalışma ile önerilen model, üç (3) bileşenli olacak şekilde boyut azaltma işlemini gerçekleştirmiş, düzeltilmiş R kare 0.53 ve NO₂ yersel değişkenini %85 değer sonuçlarını alarak başarılı şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu sonuçlar bize nihai hedef olan yüksek hassasiyetli NO₂ mekansal atlığının istenilen ölçüde başarı sonucu elde ettiği sonucuna varılmıştır. Gizli değişkenlerin gelecekteki yapılacak çalışmalar ile modele eklenmesi ile başarı oranı yükseldebileceği düşünülmektedir.

7. KAYNAKLAR

- Abas, A. İ. 2011. Çok spektralli görüntü füzyonu. (Yüksek lisans tezi). Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- AbdelSattar, A. 2019. Monitoring air pollution using satellite data. In proceedings of the international conference on industrial engineering and operations management, pp. 772-780. November, Riyadh, Saudi Arabia.
- Abdi, H. 2003. Partial least square regression (PLS regression). *Encyclopedia for research methods for the social sciences*, 6(4), 792-795.
- Abdullahı, A. H., & Çakır, S. 2017. hava kirletici konsantrasyonlarının meteorolojik parametrelere dayalı çoklu-lineer regresyonla analizi: Kuzey Kıbrıs örneği, VII. Ulusal hava kirliliği ve kontrolü sempozyumu, ss. 1-3 Kasım, Akdeniz Üniversitesi, Antalya
- Aguilar, A. L., Flores, H., Crespo, G., Marín, M. I., Campos, I., & Calera, A. 2018. Performance assessment of MOD16 in evapotranspiration evaluation in Northwestern Mexico. *Water*, 10(7), 901.
- Akhtar, F., Awan, U. K., Tischbein, B., & Liaqat, U. W. 2017. A phenology based geo-informatics approach to map land use and land cover (2003–2013) by spatial segregation of large heterogenic river basins. *Applied geography*, 88, 48-61.
- Aktaş, M., 2018. Yol Kenarındaki Pm_{2.5} ve bileşenlerinin konsantrasyonlarına yoğun araç trafiğinin etkisinin araştırılması, T.C. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara Belediyesi, Ankara İli Temiz Hava Eylem Planı Thep, (2020-2024).
- Ankara Belediyesi, Ankara İli Yerel İklim Değişikliği Eylem Planı, 2020.
- Anonim 1: WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfurioxide file online.http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69477/902_eng.pdf. [Son erişim tarihi: 06.02.2022].
- Anonim 2: <http://www.iuappa.org/AboutIUAPPA.html> (8). [Son erişim tarihi: 08.10.2022].
- Anonim 3: <https://acikders.ankara.edu.tr>. [Son erişim tarihi: 11.07.2022].
- Anonim 4: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/WorldPop_GP_100m_pop. Google Earth Engine Erişim 17/12/2022 /(1). [Son erişim tarihi: 27.07.2022].
- Anonim 5: <https://mgm.gov.tr> [Son erişim tarihi: 29.07.2022].
- Anonim 6: <https://onceliklikimyasallar.csb.gov.tr/kirleticilerin-uzun-menzilli-tasinimi-Sozlesmesi-ve-kok-protokolu-i-5176>. [Son erişim tarihi: 07.07.2022].
- Anonim 7: <https://sim.csb.gov.tr/Services/AirQuality>. [Son erişim tarihi: 01.02.2023].
- Anonim 8: <https://terra.nasa.gov/about/terra-instruments/misr> (10). [Son erişim tarihi: 19.06.2022].
- Anonim 9: <https://webdosya.csb.gov.tr/db/iklim/editordosya/>. [Son erişim tarihi: 14.04.2023].
- Anonim 10: <https://www.mevzuat.gov.tr/>. [Son erişim tarihi: 17.12.2022].

- Anonim 11: <https://www.mfa.gov.tr/bm-iklim-degisikligi-cerceve-Sozlesmesi.tr.mfa>. [Son erişim tarihi: 09.06.2022].
- Anonim 12: <https://www.mfa.gov.tr/kyoto-protokolu.tr.mfa>. [Son erişim tarihi: 09.06.2022].
- Anonim 13: <https://www.resmigazete.gov.tr/>. [Son erişim tarihi: 17.12.2022].
- Anonim 14: https://www5.tbmm.gov.tr/tutanaklar/Kanunlar_Kararlar/kanun_tbmmc_073_kanuntbmmc073/kanuntbmmc07303656.pdf. [Son erişim tarihi: 17.12.2022].
- Anonim 15: DOC: Multivariate Analysis and Lexicometry User Guide (5.3.3.X) – Askia Help Centre - Automating insight/. [Son erişim tarihi: 29.12.2022].
- Anonim 16: Principal Component and Partial Least Squares Regression Essentials - Articles - STHDA [Son erişim tarihi: 30.12.2022].
- Anonim 17: DOC: <https://collections.sentinel-hub.com/> [Son erişim tarihi: 28.12.2022].
- Aslan, D. 2009. Halk sağlığı ile ilgili güncel Sorunlar ve yaklaşımlar. *Ankara Tabib Odası*, 25-45.
- Aşkın F. 2011. Ortalama Artelyel Kan Basıncını Etkileyen Faktörlerin Temel Bileşenler Regresyonu İle Belirlenmesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik Anabilim Dalı. Yüksek Lisans, Elazığ: Fırat Üniversitesi.
- Aumann, H. H., Chahine, M. T., Gautier, C., Goldberg, M. D., Kalnay, E., McMillin, L. M., ... & Susskind, J. 2003. AIRS/AMSU/HSB on the Aqua mission: Design, science objectives, Data products, and processing systems. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(2), 253-264.
- Aydınlar, B., Güven, H., & Kırksekiz, S. 2009. Hava kirliliği ve modellemesi. *Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği Dergisi.*, 16 (2): 83-91
- Aydın Coskun, A., Türker, O. Y., & Velioglu, N. İ. M. E. T. 2011. Air pollution regulations in Turkey and harmonization with the EU legislation. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 4(4), 181.
- Ayhan, E. & Atay, G. 2014. Uzaktan algılamada görüntü birleştirme için kalite analizleri, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu. İstanbul, Türkiye: Ekim 14-17.
- MEB., 2011. Çevre Sağlığı ve Etkileri-850CK0032, TC Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları, Ankara, 59 s.
- Baran, B. 2022. Sıhhiye bölgesi hava kalitesi indeksinin aşırı öğrenme makineleri ve yapay sinir ağları ile tahmini. *Researcher*, 2(01), 1-18.
- Bashir, M. F., Jiang, B., Komal, B., Bashir, M. A., Farooq, T. H., Iqbal, N., & Bashir, M. 2020. Correlation between environmental pollution indicators and COVID-19 pandemic: a brief study in Californian context. *Environmental research*, 187, 109652.
- Bastien, P., Vinzi, V., & Tenenhaus, M. 2005. PLS generalized linear regression. *Computational Statistics & Data Analysis*, 17-46.

- Bayram, H., Dörtbudak, Z., Fişekçi, E. F., Kargın, M., & Bülbül, B. 2006. "Hava kirliliğinin insan sağlığına etkileri, dünyada, ülkemizde ve bölgemizde hava kirliliği Sorunu" paneli ardından. *Dicle Tıp Dergisi*, 33(2), 105-112.
- Berliana S, S., Susanti, I., Siswanto, B., Nurlatifah, A., Latifah, H., Witono, A., ... & Suhermat, M. 2021, April. Analysis of wet and dry season by using the Palmer Drought Severity Index (PDSI) over Java Island. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2331, No. 1, p. 030010). *AIP Publishing LLC*.
- Bildirici, İ. Ö., Üstün, A., Uluğtekin, N., Selvi, H. Z., Abbak, R. A., Buğdaycı, İ., & Doğru, A. Ö. 2008. Yerel yükseklik bilgileriyle desteklenmiş SRTM verileri kullanılarak Türkiye için 3"× 3" çözünürlüklü sayısal yükseklik modelinin oluşturulması, 2. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu UZAL-CBS, ss. 632-645, Kayseri
- Burrows, J. P., Weber, M., Buchwitz, M., Rozanov, V., Ladstätter-Weissenmayer, A., Richter, A., ... & Perner, D. 1999. The global ozone monitoring experiment (GOME): Mission concept and first scientific results. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 56(2), 151-175.
- Bush, B. L. & Nachbar, J. B. 1993. Sample-distance partial least squares: PLS optimized for many değişkens, with application to CoMFA. *J. Comput. Aided Mol. Des.*, 587-619.
- Bustamante-Calabria, M., Sánchez de Miguel, A., Martín-Ruiz, S., Ortiz, J. L., Vélchez, J. M., Pelegrina, A., ... & Gaston, K. J. 2021. Effects of the COVID-19 lockdown on urban light emissions: *Ground and satellite comparison. Remote Sensing*, 13(2), 258.
- Can, S. B. 2018. Şehir merkezi ve il ölçeklerinde hava kalitesi tahmini için alan kullanımı regresyon modelleri geliştirilmesi: Kütahya örneği (Doctoral dissertation, Anadolu University (Turkey)).
- Carlson, T. N., & Wendling, P. 1977. Reflected radiance measured by NOAA 3 VHRR as a function of optical depth for Saharan dust. *Journal of Applied Meteorology* (1962-1982), 1368-1371.
- Christy, W. G. 1960. History of the air pollution control association. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 10(2), 126-174.
- Cohen, A. J., Brauer, M., Burnett, R., Anderson, H. R., Frostad, J., Estep, K., ... & Forouzanfar, M. H. 2017. Tahmins and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: *an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015*. *The Lancet*, 389(10082), 1907-1918.
- Çıldır, İ. 2021. Balıkesir'de hava kirliliği seviyelerinin meteorolojik parametrelere bağlı olarak solunum yolu hastalıkları üzerindeki etkilerinin incelenmesi (Master's thesis, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Çiçek, İ., Türkoğlu, N., & Gürgen, G. 2004. Ankara'da hava kirliliğinin istatistiksel analizi. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 14(2), 1-18.
- Çölkesen, İ. 2015. Yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri kullanılarak benzer spektral özelliklere sahip doğal nesnelerin ayırt edilmesine yönelik bir metodoloji geliştirme. (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Degano, M. F., Rivas, R. E., Carmona, F., Niclòs, R., & Sánchez, J. M. 2021. Evaluation of the MOD16A2 evapotranspiration product in an agricultural area of Argentina, the Pampas region. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 24(2), 319-328.
- Diccion, A. J. L., & Duran, J. Z. 2021. Modeling and forecasting cumulative evi anomalies using sarima for biophysical monitoring: a case study in the philippines. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*. 141-146.
- Dimitrova, A., Marois, G., Kiesewetter, G., Samir, K. C., Rafaj, P., & Tonne, C. 2021. Health impacts of fine particles under climate change mitigation, air quality control, and demographic change in India. *Environmental Research Letters*, 16(5), 054025.
- Dong, J., Wang, Y., Wang, L., Zhao, W., & Huang, C. 2022. Assessment of PM_{2.5} exposure risk towards SDG indicator 11.6.2–A case study in Beijing. *Sustainable Cities and Society*, 82, 103864.
- DSÖ Avrupa Bölge Ofisi 1987. Air quality guidelines for Europe, DSÖ Avrupa Bölge Ofisi, Kopenhag
- Dursun, S., Kunt, F., Toros, H., & Mankolli, H. 2014. Climate change and the changes in regional precipitation. *International Journal of Ecosystems and Ecology Sciences (IJEES)*, 4(1), 1-4.
- Ekinci, A., 2019. Şanlıurfa'nın Sosyo Ekonomik Durumunun Hava Kirliliği Üzerine Etkisi, .C.Harran Üniversitesifen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, 48 s.
- El Khoury, E., Ibrahim, E., & Ghanimeh, S. 2019. A look at the relationship between tropospheric nitrogen dioxide and aerosol optical thickness over lebanon using spaceborne data of the copernicus programme. In 2019 Fourth International Conference on Advances in Computational Tools for Engineering Applications (ACTEA). *IEEE*. pp. 1-6
- Elmasry, G., Kamruzzaman, M., Sun, D. W., & Allen, P. 2012. Principles and applications of hyperspectral imaging in quality evaluation of agro-food products: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 52(11), 999-1023.
- El-Shirbeny, M. A., & Mohammed, S. H. A. 2021. Cloud Computing for Water and Climate Big Data Analysis on the African Continent from 1958 To 2021, *Computer Systems Science Engineering*.
- Etikan, İ. 1996. Hava kirliliği ile ilgili ölçümlerle meteorolojik ölçümlerin çok değişkenli istatistiksel yöntemlerle incelenmesi (Doctoral dissertation, Doktora Tezi, Hacettepe, Ankara).
- Filgueiras, R., Venancio, L. P., Aleman, C. C., & da Cunha, F. F. 2022. Comparison and calibration of terraclimate climatological değişkens over the Brazilian territory. *Journal of South American Earth Sciences*, 117, 103882.
- Fraser, R. S. 1976. Satellite measurement of mass of Sahara dust in the atmosphere. *Applied Optics*, 15(10), 2471-2479.
- Fuentes-Cortés, L. F., Flores-Tlacuahuac, A., & Nigam, K. D. 2022. Machine learning algorithms used in PSE environments: A didactic approach and critical perspective. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 61(25), 8932-8962.

- Funda, K. 2018. Kentlerde hava kirliliğini önleyecek ya da azaltacak yöntem için verilerin toplanması ve değerlendirilmesi. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1(3), 145-157.
- Garipağaoğlu, N., & Duman, C. 2017. Bursa kenti hava kalitesinin zaman içerisindeki değişimi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, (36), 57-70.
- Geladi, P., & Kowalski, B. R. 1986. An example of 2-Block predictive partial least squares regression with simulated Data. *Analytica Chimica Acta*, 19-32.
- Genc, D. D., Yesilyurt, C., & Tuncel, G. 2010. Air pollution forecasting in Ankara, Turkey using air pollution index and its relation to assimilative capacity of the atmosphere. *Environmental monitoring and assessment*, 166(1), 11-27.
- Ghasempour, F., Sekertekin, A., & Kutoglu, S. H. 2021. Google Earth Engine based spatio-temporal analysis of air pollutants before and during the first wave COVID-19 outbreak over Turkey via remote sensing. *Journal of Cleaner Production*, 319, 128599.
- Gheibi, M., Kian, Z., Takhravan, A., & Aghlmand, R. 2021. Investigation of air pollution and health effects as per dose-response functions and prioritizing responsibility of pollutants based on Multi-Criteria decision making computations: A case study. *Annals of Environmental Science and Toxicology*, 5(1), 045-050.
- Gimpel, J. (2004). Ortaçağda endüstri devrimi. Tübitak. Ankara, 253 s.
- Griffin, D., Sioris, C., Chen, J., Dickson, N., Kovachik, A., De Graaf, M., ... & Akingunola, A. 2020. The 2018 fire season in North America as seen by TROPOMI: aerosol layer height intercomparisons and evaluation of model-derived plume heights. *Atmospheric Measurement Techniques*, 13(3), 1427-1445.
- Hashim, J. H., Pillay, M. S., Hashim, Z., Shamsudin, S. B., Sinha, K., Zulkifli, Z. H., & Lian, K. S. 2004. A Study of health impact and risk assessment of urban air pollution in the Klang Valley, Malaysia. file online: extension://bfgdogplmndidlpjfhiojckpakkdjkkil/pdf/viewer.html?file=https%3A%2F%2Fwww.dosh.gov.my%2Findex.php%2Flegislation%2Fguidelines%2Fgeneral%2F597-04-guidelines-on-occupational-safety-and-health-management-systems-oshms%2Ffile [Son erişim tarihi: 17.12.2022].
- T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, 2008, Hava kalitesi değerlendirme ve yönetimi yönetmeliği (HKDYY), Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü (resmigazete.gov.tr) [Son erişim tarihi: 17.12.2022].
- T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2020, Hava Kalitesinin Modellenmesi ve Ölçülmesi Uygulama Kılavuzu, Sanayiden Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Belirlenmesi ve Azaltılmasına Yönelik Uygulamanın Kolaylaştırılmasının Sağlanması Projesi, ÇŞB.
- Heft-Neal, S., Burney, J., Bendavid, E., & Burke, M. 2018. Robust relationship between air quality and infant mortality in Africa. *Nature*, 559(7713), 254-258.
- Hotelling, H. 1933. Analysis of a complex of statistical değişkens into principal components. *Journal of Educational Psychology*. 24(6). 417.

- Im, U., Incecik, S., Guler, M., Tek, A., Topcu, S., Unal, Y. S., ... & Tayanc, M. 2013. Analysis of surface ozone and nitrogen oxides at urban, semi-rural and rural sites in Istanbul, Turkey. *Science of the Total Environment*, 443, 920-931.
- Deng, M., Lai, G., Li, Q., Li, W., Pan, Y., & Li, K. 2022. Impact analysis of COVID-19 pandemic control measures on nighttime light and air quality in cities. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 27, 100806. Improving Satellite-Driven PM_{2.5} Models with VIIRS Nighttime Light Data in the Beijing–Tianjin–Hebei Region, China.
- Zhao, X., Shi, H., Yu, H., & Yang, P. 2016. Inversion of nighttime PM_{2.5} mass concentration in Beijing based on the VIIRS day-night band. *Atmosphere*, 7(10), 136.
- İşi, A. 2002. Yanlı tahmin ediciler ve kombinasyonları. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi, Ankara: Gazi Üniversitesi.
- Jamal, H. H., Pillay, M. S., Zailina, H., Shamsul, B. S., Sinha, K., Zaman Huri, Z., ... & Ruzita, M. S. 2004. A study of health impact & risk assessment of urban air pollution in Klang Valley. *UKM Pakarunding Sdn Bhd, Malaysia*, Kuala Lumpur.
- Jolliffe, I. T., & Cadima, J. 2016. Principal component analysis: A review and recent developments. *Philosophical transactions of the royal society a: mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 374(2065). <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>
- Jolliffe, I. T. 2002. Principal component analysis (2nd ed.). New York, NY: *Springer*.
- Jung, M. H. 2012. Automatic change detection of MODIS NDVI using Artificial neural networks. *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea CI*, 49(2), 83-89
- Kalpoma, K. A., & Rahman, A. 2021. Web-Based Monitoring of Boro Rice Production Using Improved NDVI Threshold of MODIS MOD13.Çeyrek1 and MYD13.Çeyrek1 Images. In 2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS, *IEEE*, pp. 6877-6880, Brussels, Belgium
- Kandil, S. 2017. Mıhlı çayı havzası'nda uydu verileri ile veri entegrasyonu kullanarak havza gelişimi ve jotermal enerji analizi (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Karabaş, A. S. 2012. Kayseri ili baz alınarak enerji, gürültü ve hava kirliliği haritalarının coğrafi bilgi sistemi yardımıyla oluşturulması ve analizi. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 71.
- Karabaş, S. 2012. Kayseri ili baz alınarak enerji, gürültü ve hava kirliliği haritalarının coğrafi bilgi sistemi yardımıyla oluşturulması ve analizi tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü , Fen Bilimleri Enstitüsü , Kayseri
- Karataş E. 2008. RTK gps yardımıyla SRTM3 sayısal yükseklik modelinin doğruluk analizi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 58 s.
- Ke, Y., Im, J., Park, S., & Gong, H. 2017. Spatiotemporal downscaling approaches for monitoring 8-day 30 m actual evapotranspiration. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 126, 79-93.
- Koch A., & Lohmann P. 2000. Quality Assessment And Validation Of Digital Surface Models Derived From The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). *International Archives of*

- Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXIII, 61-68p., 16-22 July, Amsterdam, The Netherlands,
- Kooreman, M. L., Stammes, P., Trees, V., Sneep, M., Tilstra, L. G., de Graaf, M., ... & Veefkind, J. P. 2020. Effects of clouds on the uv absorbing aerosol index from TROPOMI. *Atmospheric Measurement Techniques*, 13(12), 6407-6426.
- Köksal, C. 2019. Türkiye'de ulusal emisyon tavanları direktifinin uyumlaştırma sürecinin değerlendirilmesi, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Hacettepe Üniversitesi , 239 s.
- Kuhn, M. 2008. Building predictive models in R using the caret package. *Journal of statistical Software*, 28, 1-26.o
- Lee, B. J., Kim, B., & Lee, K. 2014. Air pollution exposure and cardiovascular disease. *Toxicological research*, 30(2), 71-75.
- Lemenkova, P. 2022. Console-Based mapping of mongolia using gmt cartographic scripting toolset for processing terracimate data. *Geosciences*, 12(3), 140.
- Li, X., Zhang, C., Li, W., & Liu, K. 2017. Evaluating the use of DMSP/OLS nighttime light imagery in predicting PM_{2.5} concentrations in the northeastern United States. *Remote Sensing*, 9(6), 620.
- Li, R., Liu, X., & Li, X. 2015. Estimation of the PM_{2.5} pollution levels in Beijing based on nighttime light data from the defense meteorological satellite program-operational linescan system. *Atmosphere*, 6(5), 607-622.
- Li, X., Nsofor, G. C., & Song, L. 2009. A comparative analysis of predictive data mining techniques. *International Journal of Rapid Manufacturing*, 1(2), 150-172.
- Lindfors, A. V., Kujanpää, J., Kalakoski, N., Heikkilä, A., Lakkala, K., Mielonen, T., ... & Tamminen, J. 2018. The TROPOMI surface UV algorithm. *Atmospheric Measurement Techniques*, 11(2), 997-1008.
- Loyola, D. G., Gimeno García, S., Lutz, R., Argyrouli, A., Romahn, F., Spurr, R. J., ... & Schüssler, O. 2018. The operational cloud retrieval algorithms from TROPOMI on board Sentinel-5 Precursor. *Atmospheric Measurement Techniques*, 11(1), 409-427.
- Martin, R. V. 2008. Satellite remote sensing of surface air quality. *Atmospheric environment*, 42(34), 7823-7843.
- McCall, M., Lopez, A., Peters, W., & Sanders, J. 2021. Austin Health & Air Quality: Identifying Communities Most Susceptible to Heat Exposure in Austin, Texas Using NASA Earth Observations.
- Mekler, Y., Quenzel, H., Ohring, G., & Marcus, I. 1977. Relative atmospheric aerosol content from ERTS observations. *Journal of Geophysical Research*, 82(6), 967-970.
- Miranda, R. D. Q., Galvêncio, J. D., Moura, M. S. B. D., Jones, C. A., & Srinivasan, R. 2017. Reliability of MODIS evapotranspiration products for heterogeneous dry forest: a study case of Caatinga. *Advances in Meteorology*, 2017.
- Na, S. I., Ahn, H. Y., Park, C. W., Hong, S. Y., So, K. H., & Lee, K. D. 2020. Effect of the application of temporal mask map on the relationship between NDVI and Rice yield. *Korean Journal of Remote Sensing*, 36(5_1), 725-733.

- Naes, T., Irgens, C., & Martens, H. 1986. Comparison of linear statistical methods for calibration of NIR instruments. *Journal of the Royal Statistical Society Series C: Applied Statistics*, 35(2), 195-206.
- Kovács, K. D. 2022. Nighttime light emissions explain the decline in NO₂ during a COVID-19-Induced Total Lockdown in France. *Geographia Technica*, 17(1), 104-115.
- Okkaoğlu, Y. 2018. Ankara'nın hava kirliliği: Periodogramlar ve harmonik regresyon analizi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Okur, A. Y. 2017. Uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri kullanımı ile potansiyel termal su alanlarının araştırılması: Kaz dağları ve çevresi örneği (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Oner, E., & Kaynak, B. (2016). Evaluation of NO_x emissions for Turkey using satellite and ground-based observations. *Atmospheric Pollution Research*, 7(3), 419-430.
- Pan, Y., Gong, J., & Li, J. 2022. Assessment of remote sensing ecological quality by introducing water and air quality indicators: A case study of Wuhan, China. *Land*, 11(12), 2272.
- Pandey, P. C. 2022. Highlighting the role of earth observation Sentinel5P TROPOMI in monitoring volcanic eruptions: a report on Hunga Tonga, a Submarine Volcano. *Remote Sensing Letters*, 13(9), 912-923.
- Parker, A. 1961. Air pollution legislation: standards and enforcement. Air pollution, world health organization: *Monograph Series*, (46). (5).
- Peng, D., Zhou, L., Huang, J., Zhou, B., & Wang, F. 2011. Rice yield estimation based on MODIS EVI and measured data derived from statistical sampling plots at province level. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 27(9), 106-114.
- Ramsay, J. O., & Silverman, B. W. 1997. Principal differential analysis. In *Functional data analysis* pp. 239-256. Springer, New York, NY.
- Liu, S., Shi, K., Wu, Y., & Chang, Z. 2021. Remotely sensed nighttime lights reveal China's urbanization process restricted by haze pollution. *Building and Environment*, 206, 108350.
- Roberts, G., & Wooster, M. J. 2021. Global impact of landscape fire emissions on surface level PM_{2.5} concentrations, air quality exposure and population mortality. *Atmospheric Environment*, 252, 118210.
- Rogan, J., Schneider, L., Christman, Z., Millones, M., Lawrence, D., & Schmook, B. 2011. Hurricane disturbance mapping using MODIS EVI Data in the Southeastern Yucatán, Mexico. *Remote Sensing Letters*, 2(3), 259-267.
- Saraçoğlu Varol, G., & Çağlayan, Ç. 2017. Dünyada ve Türkiye'de Temiz Hava İçin Mücadele. *Toplum ve Hekim*.
- Saygın, H. 2019. Karaman'da 2012-2018 yılları arasında hava kirliliği parametrelerinin kardiyovasküler ve solunum nedenli acil servis başvuruları ve hastane yatışları ile ilişkisi. Kırklareli Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Kırklareli.

- Sefercik, U. G. 2006. Accuracy assessment of digital elevation models derived from shuttle radar topography mission (SRTM). Master of Science Thesis. Leibniz University of HaNOver, Germany. (1)
- Shekar, N. C., & Hemalatha, H. N. 2021. performance comparison of penman–monteith and priestley–taylor models using MOD16A2 remote sensing product. *Pure and Applied Geophysics*, 178(8), 3153-3167.
- Shetty, A., Umesh, P., & Shetty, A. 2022. An exploratory analysis of urbanization effects on climatic değişkens: a study using Google Earth Engine. *Modeling Earth Systems and Environment*, 8(1), 1363-1378.
- Souza, D. Z., Vasconcellos, P. C., Lee, H., Aurela, M., Saarnio, K., Teinilä, K., & Hillamo, R. 2014. Composition of PM_{2.5} and PM₁₀ collected at urban sites in Brazil. *Aerosol and Air Quality Research*, 14(1), 168-176.
- Liu, Q., Sha, D., Liu, W., Houser, P., Zhang, L., Hou, R., ... & Yang, C. (2020). Spatiotemporal patterns of COVID-19 impact on human activities and environment in mainland China using nighttime light and air quality data. *Remote Sensing*, 12(10), 1576.
- Yue, Y., Tian, L., Yue, Q., & Wang, Z. (2020). Spatiotemporal variations in energy consumption and their influencing factors in China based on the integration of the DMSP-OLS and NPP-VIIRS nighttime light datasets. *Remote Sensing*, 12(7), 1151."
- Stolarski, R. S., Bloomfield, P., McPeters, R. D., & Herman, J. R. 1991. Total ozone trends deduced from Nimbus 7 TOMS Data. *Geophysical Research Letters*, 18(6), 1015-1018. (7)
- Straif, A Cohen, S Samet - 2017 - Straif, A Cohen, S Samet - 2017 - International Agency for Research, Chinese Journal Cancer, Chine
- Streets, D. G., Canty, T., Carmichael, G. R., de Foy, B., Dickerson, R. R., Duncan, B. N., ... & Wecht, K. J. 2013. Emissions estimation from satellite retrievals: A review of current capability. *Atmospheric Environment*, 77, 1011-1042.
- Sümer, G. Ç. 2014. Hava kirliliği kontrolü: türkiye’de hava kirliliğini önlemeye yönelik yasal düzenlemelerin ve örgütlenmelerin incelenmesi. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, (13), 37-56.
- Şahin, M. 1999. Ankara’da hava kirliliği episodları esnasında atmosferik şartların analizi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü). İTÜ, İstanbul
- Tağıl, Ş., & Menteşe, S. 2012. Zonguldak’ta hava kirliliği (Pm 10 & SO₂) ile ilişkili olarak seçilmiş solunum yolu hastalıklarının zamansal ve mekânsal değişimi1 Ş. *Balikesir University Journal of Social Sciences Institute*, 15(27).
- Taş, F. 2006. Hava kirliliği ve Kastamonu şehir merkezi için değerlendirme. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi: Ankara.
- Tayanç, M. 2013. Türkiye’de Hava Kalitesi Modellemesi. *Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi*, 2, 112-122.

- Tessum, M. W., Anenberg, S. C., Chafe, Z. A., Henze, D. K., Kleiman, G., Kheirbek, I., ... & Tessum, C. W. 2022. Sources of ambient PM_{2.5} exposure in 96 global cities. *Atmospheric Environment*, 286, 119234.
- Tıgılı, N. E., & Cangür, Ş. 2019. Ankara’da farklı hava kalitesi izleme istasyonlarından elde edilen verilerin kantil regresyon analizi ile incelenmesi. *Nicel Bilimler Dergisi*, 1(2), 62-86.
- Tmmob, Çevre Mühendisliği Odası, 2021 Hava Kirliliği Raporu, Haziran’22.
- Toros, H., Bağış, S., & Gemici, Z. 2018. Ankara’da hava kirliliği mekânsal dağılımının modellenmesi. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1(1), 20-53.
- Toure, N. O., Gueye, N. R. D., Mbow-Diokhane, A., Jenkins, G. S., Li, M., Drame, M. S., Thiam, K. 2019. Observed and modeled seasonal air quality and respiratory health in Senegal during 2015 and 2016. *GeoHealth*, 3(12), 423-442.
- Trees, V., Wang, P., & Stammes, P. 2021. Restoring the top-of-atmosphere reflectance during Solar eclipses: a proof of concept with the UV absorbing aerosol index measured by TROPOMI. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 21(11), 8593-8614.
- Tuna, T., 1997 Atmosferik Kirlilik, Gıda-Tarım ve Hayvancılık Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara,
- Uslu, A., 2001. Ankara il merkezinde hava kirliliğinin gelişimi ve insan sağlığına etkileri, T.C. İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı. İstanbul
- UWE, B. 2018. Air quality, deprivation and health file online: UWE Bristol Research Repository Home (worktribe.com), [Son erişim tarihi: 09.06.2022].
- Ünaldı, S., & Yalçın, N. 2022. Hava kirliliğinin makine öğrenmesi tabanlı tahmini: Başakşehir örneği. *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 35-44.
- Venkatappa, M., & Sasaki, N. 2021. Datasets of drought and flood impact on croplands in Southeast Asia from 1980 to 2019. *Data in Brief*, 38, 107406.
- Vijayaraj, V. 2004 A quantitative analysis of pansharpened images. (Yüksek lisans tezi). Mississippi Eyalet Üniversitesi, Mississippi.
- W, Massy. 1965 “Principal components regression in exploratory statistical research.” *Journal of the American Statistical Association* 60: 234–46.
- Wang, J., Aegerter, C., Xu, X., & Szykman, J. J. (2016). Potential application of VIIRS Day/Night Band for monitoring nighttime surface PM_{2.5} air quality from space. *Atmospheric environment*, 124, 55-63.
- Wang, Y., Yuan, Q., Li, T., Tan, S., & Zhang, L. 2021. Full-coverage spatiotemporal mapping of ambient PM_{2.5} and PM₁₀ over China from Sentinel-5P and assimilated Datasets: Considering the precursors and chemical compositions. *Science of The Total Environment*, 793, 148535.
- Who., 1992. World Health Organization. United Nations Environment Programme 1992)Urban Air Pollution in Megacities of the World.

- Wold, Herman. 1973. "Nonlinear iterative partial least squares (NIPALS) Modelling: Some Current Developments." *Academic Press*, 383–407.
- Xie, Y. L., & Kalivas, J. H. 1997. Local prediction models by principal component regression. *Analytica Chimica Acta*, 348(1-3), 29-38.
- Yavan, S., & Hotunluoğlu, H. 2018. Yerel yönetimlerin çevre harcamaları ile hava kalitesi ilişkisi: İl Bazlı Bir Analiz. Aydın, *İktisat Fakültesi Dergisi*, 3(1), 36-47.
- Yavuz, C. I. 2020. Kentsel alanda hava kirliliği: hava kirliliği izleme ağı Ankara istasyonlarının beş yıllık PM_{10} Ölçüm verilerinin incelenmesi. *Sağlık ve Toplum*, 30(3), 96-102.
- Zencirci, S. A., & IŞIKLI, B. 2017. Hava kirliliği. *Estüdam Halk Sağlığı Dergisi*, 2(2), 24-36.
- Zheng, Z., Yang, Z., Wu, Z., & Marinello, F. 2019. Spatial variation of NO_2 and its impact factors in China: An application of sentinel-5P products. *Remote Sensing*, 11(16), 1939

ÖZGEÇMİŞ

Ercüment AKSOY

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2013-2016	Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Bölümü, Antalya
Lisans	Yıldız Teknik Üniversitesi
1989-1993	Mühendislik Fakültesi, Jeo. ve Fot. Bölümü, Antalya

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Öğretim Görevlisi	Akdeniz Üniversitesi
2013-Devam Ediyor	TBMYO, Mimarlık ve Şehir P. B. CBS Prog., Antalya
Öğretim Görevlisi	Akdeniz Üniversitesi
2006-2013	TBMYO, Bilgisayar Prog., Antalya
Öğretim Görevlisi	Akdeniz Üniversitesi
2003-2006	TBMYO, Harita-Kadastro Prog., Antalya
Uzman	Akdeniz Üniversitesi
1995-2003	TBMYO, Harita-Kadastro Prog., Antalya

ESERLER

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

- Koraltan, I., Guven, O., Asri, F. O., Aktas, O., Aksoy, E., Yaprak, G., ... & Ozmen, S. F. 2023. An assessment on levels of radionuclides and trace metals and radiological risk to marine biota in The North-Eastern Mediterranean Sea. *The European Physical Journal Special Topics*, 1-11.
- Koçer, A., Aksoy, E., Yaka, I. F., & Güngör, A. F. Ş. İ. N. 2022. Energy and exergy analysis of hydrogen production on co-gasification of municipal solid waste and coal. *European Journal of Technique (EJT)*, 12(2), 156-160.
- Aksoy, E., Güllüdağ, C. B., & Karadirek, S. 2022. Anthropogenic and natural sources of air pollutants and studies on their detection by uav. *Scientific Studies In The Perspective Of Energy And Environment*, 4.
- Bostancı, E., Kabaş, Ö., & Aksoy, E. 2021. Uzaktan algılama ve cbs teknikleri kullanılarak mısır bitkisinin bitki indeks değerleri ile hasat arasındaki ilişkinin antalya/aksu örneğinde ele alınması. *MAS Journal of Applied Sciences*, 6(3), 576-592.
- Atılğan, A., Saltuk, B., Ertop, H., & Aksoy, E. 2021. DeterMinimumation of the potential biogas energy value of animal wastes: case of Antalya. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (22), 263-272.
- Alkış, S., Aksoy, E., & Akpınar, K. 2021. Risk assessment of industrial fires for surrounding vulnerable facilities using a multi-criteria decision support approach and GIS. *Fire*, 4(3), 53.
- Atılğan, A., Saltuk, B., Ertop, H., & Aksoy, E. 2020. Sera atıklarından biyogaz enerji potansiyelinin belirlenerek sayısal haritalarının oluşturulması: Antalya ili örneği. *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences*, 7(12), 19-30.
- Güllüdağ, C. B., Aksoy, E., Ünal, N., & Özmen, S. F. 2020. Radioactivity concentrations and risk assessment of Tekirdağ lignites (case study of Malkara coalfield). *Acta Geophysica*, 68(5), 1411-1420.
- Aksoy, E., & San, B. T. 2019. Geographical information systems (GIS) and multi-criteria decision analysis (MCDA) integration for sustainable landfill site selection considering dynamic Data Source. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78, 779-791
- Aksoy, E., & Korkmaz-Yaylagul, N. 2019. Assessing liveable cities for older people in an urban district in Turkey using the analytical hierarchy process. *Urban Planning*, 4(2), 83.
- Ertop, H., Atılğan, A., & Aksoy, E. 2019. DeterMinimumation of geothermal energy areas and usage possibilities in greenhouse heating. scientific papers, *Series E-Land Reclamation, Earth Observations and Surveying, Environmental Engineering*, 8, 99-108.

Ulusal Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Bildiri Kitaplarında Basılan Bildiriler

Güllüdağ, C. B., & Aksoy, E. (2018) Türkiye’deki *Belediyelerin Kent Bilgi Sistemleri Açısından Değerlendirilmesi*. Uzal CBS, Eskişehir

Ertop, H., Aksoy, E., & Yücel, A. (2021). Bölüm 7 Bazı Tarımsal Atıklardan Elde Edilebilecek Kullanılabilir Bıyogaz Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi: Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti Örneği. Kıbrıs, Biyosistem Mühendisliği I, 11 s.

Topcuoglu, B., Aksoy, E., & Ozmen, S. F. (2022). Assessment Of Radioactivity Levels Of Wastewater Treatment Plants Sludges Of Western Antalya., 1st Turkey International Conference on “Chemical, Biological, Environment & Medical Sciences”, s 78-82,

Atılğan, A., Değirmenci, H., Demircan, V., & Tanrıverdi, Ç. (Eds.). (2022). Biyosistem Mühendisliği III. Akademisyen Kitabevi. Ankara